COPPE
Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia
UFRJ

ALTERNATIVAS ARQUITETÔNICAS PARA O AUMENTO DA EFICIÊNCIA NO USO DE ENERGIA ELÉTRICA POR EDIFÍCIOS COMERCIAIS

Marcia Marques de Queiroz Carvalho

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Planejamento Energético.

Orientador: Emilio Lebre La Rovere

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2011

ALTERNATIVAS ARQUITETÔNICAS PARA O AUMENTO DA EFICIÊNCIA NO USO DE ENERGIA ELÉTRICA POR EDIFÍCIOS COMERCIAIS

Marcia Marques de Queiroz Carvalho

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

Examinada por:

_____
Prof. Emilio Lebre La Rovere, D.Sc.

_____
Prof. Aldo Carlos de Moura Gonçalves, D.Sc.

_____
Profa. Maria Silvia Muylaert de Araujo, D.Sc.

_____
Dr. Amaro Olimpio Pereira Junior, D.Sc.

_____
Dr. Ricardo Gorini de Oliveira , D.Sc.

_____
Prof. Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
FEVEREIRO DE 2011

Carvalho, Marcia Marques de Queiroz

Alternativas arquitetônicas para o aumento da eficiência no uso de energia elétrica por edifícios comerciais /Marcia Marques de Queiroz Carvalho. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2011.

XIV, 407 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Emilio Lebre La Rovere.

Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Planejamento Energético, 2010.

Referências Bibliográficas: p. 287-296.

1. Eficiência Energética. 2. Proteção das fachadas. 3. Simulação no VisualDoe. 4. Edifício Comercial. I. La Rovere, Emilio Lebre. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Planejamento Energético. III. Título.

Este trabalho é dedicado ao meu marido Edival e nossos filhos, Felipe e Frederico.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela saúde, disposição e alegrias obtidas durante a minha vida pessoal e acadêmica.

À Universidade Federal do Rio de Janeiro e ao corpo docente do Programa de Planejamento Energético pela acolhida, crescimento pessoal e profissional, auxílio e incentivo durante o Doutorado.

À Universidade Federal Fluminense – UFF e ao corpo docente da qual faço parte pelo incentivo e apoio.

Ao Professor Aluisio Campos Machado, por ter aceitado inicialmente a minha orientação permitindo o desenvolvimento deste trabalho. Ao Professor Emilio Lebre La Rovere por ter assumido a minha orientação após o afastamento do Professor Aluisio Campos Machado, pela orientação na revisão do artigo e pela confiança no desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Professor Aldo Carlos de Moura Gonçalves, pela colaboração na orientação, confiança, amizade, incentivo, dedicação e revisão deste trabalho.

A professora Cláudia Barroso Krause pelo apoio e dicas importantes.

Ao meu querido esposo, Edival, meus filhos Felipe e Frederico, meus pais e sogros, pelo carinho, amparo, motivação e estímulo.

Ao Centro de Pesquisas em Energia Elétrica (CEPEL), nas pessoas dos engenheiros João Carlos Rodrigues Aguiar, Alessandra Nogueira Vallim e Fernando de Souza Midão, pela utilização do programa VisualDOE 2.16 em seus laboratórios e pela suas valiosas contribuições na manipulação do mesmo.

As equipes de manutenção do Città América, em especial ao Engenheiro Ricardo Silvino, e da empresa alocada no bloco em estudo, aos amigos, colegas de

doutorado e a todos que diretamente ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

ALTERNATIVAS ARQUITETÔNICAS PARA O AUMENTO DA EFICIÊNCIA NO USO DE ENERGIA ELÉTRICA POR EDIFÍCIOS COMERCIAIS

Marcia Marques de Queiroz Carvalho

Fevereiro/2011

Orientadores: Emilio Lebre La Rovere

Programa: Planejamento Energético

Os sistemas de ar condicionado em edifícios comerciais no Brasil são responsáveis por cerca de 70% do seu consumo de energia elétrica. De acordo com BEN 2009 (Balanço Energético Nacional), o consumo de energia nos setores residencial, comercial e público, onde a maioria dos edifícios se encontra, representa 16% do consumo final de energia no Brasil. Este trabalho tem por objetivo analisar as variáveis de projeto que podem contribuir para reduções no consumo de energia elétrica em edifícios comerciais, com ênfase em ar condicionado. As simulações foram realizadas utilizando reatores eletrônicos dimerizaveis, sombreamento, diferentes tipos de vidro, paredes, pisos e telhados. O VisualDOE 2,61 foi utilizado como uma ferramenta de simulação para o cálculo do consumo de energia elétrica do edifício analisado. Este trabalho mostra que o desempenho energético do edifício é bastante influenciado pela fachada e expõe, através de tabelas, o impacto que as decisões relativas à cobertura e fachadas têm sobre o consumo energético do edifício. Conclui-se, os resultados confirmam, a importância de levar em conta o uso de energia nas fases iniciais do projeto (concepção), uma vez que escolhas adequadas de tipos de vidro, sombreamento externo, aberturas e materiais utilizados nas fachadas e cobertura tem um impacto significativo no consumo de energia elétrica dos edifícios.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

ARCHITECTURAL ALTERNATIVES FOR INCREASING ELECTRIC ENERGY EFFICIENCY FOR COMMERCIAL BUILDINGS

Marcia Marques de Queiroz Carvalho

February/2011

Advisors: Emilio Lebre La Rovere

Department: Energy Planning

Air conditioning systems in commercial buildings in Brazil are responsible for about 70% share of their energy consumption. According to BEN 2009 (The Brazilian Energy Balance), energy consumption in the residential, commercial and public sectors, where most buildings are found, represents 16% of the final energy consumption in Brazil. This paper aims to examine design factors that could contribute to greater reductions of electric energy consumption in commercial buildings, with emphasis on air conditioning. Simulations were carried out using electronic reactors controllers of light, shades and different types of glass, walls, flooring and roofing. The VisualDOE 2.61 was used as a simulation tool for calculating energy consumption of the analyzed building. This paper shows that the energy performance of the building is considerably influenced by the façade protection and shows, through tables, the impact that decisions related to the top level and façades have on the energy consumption of the building. The authors concluded that the results confirm the importance of taking energy use into account in the very first design stages of the project, since appropriate choices of types of glass, external shading and envelope materials have a significant impact on energy consumption.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 1
2 CAPÍTULO 1 ASPECTOS HISTÓRICOS E CONCEITUAIS RELACIONADOS COM A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E O MEIO AMBIENTE, CONTEXTUALIZAÇÃO E DEFINIÇÃO DA PESQUISA 8
2.1 ENERGIA 12
2.2 MEIO AMBIENTE E IMPACTO AMBIENTAL 18
2.3 POLUIÇÃO AMBIENTAL 28
2.4 ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA E CONFORTO AMBIENTAL 31
2.5 A IMPORTÂNCIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA 37
2.6 A EMPRESA E O MEIO AMBIENTE 58
3 CAPÍTULO 2 CONTEXTUALIZAÇÃO E DEFINIÇÃO DA PESQUISA 64
3.1 A CONSTRUÇÃO CIVIL - O SETOR COMERCIAL - PRÉDIO COMERCIAL – EDIFÍCIO DE ESCRITÓRIOS 64
3.2 O EDIFÍCIO INTELIGENTE 75
3.3 MÉTODOS DE SUSTENTABILIDADE DO PROJETO. ASPECTOS RELACIONADOS AO EDIFÍCIO - PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA 83
3.3.1 **Projeto, Material e Sistema Construtivo** 90
3.3.2 **Gerenciamento dos sistemas de iluminação, condicionamento de ar, bombeamento de água e de transporte vertical** 97
3.4 VARIÁVEIS DE MAIOR IMPORTÂNCIA NA DETERMINAÇÃO DO CONSUMO DE ELETRICIDADE 102
4 CAPÍTULO 3 SIMULAÇÃO - FERRAMENTA PARA QUANTIFICAR A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS COMERCIAIS 124
4.1 OBJETIVO 124
4.2 METODOLOGIA E CRITÉRIO DE ESCOLHA DO EDIFÍCIO 125
4.3 MODELOS DE SIMULAÇÃO VISANDO O AUMENTO DA EFICIÊNCIA NO USO DE ENERGIA ELÉTRICA POR EDIFÍCIOS COMERCIAIS 131
4.4 DOE-2 / VISUALDOE – INTRODUÇÃO E BASE TEÓRICA 135
4.5 AVALIAÇÃO E UTILIZAÇÃO DO *SOFTWARE* DE SIMULAÇÃO VISUALDOE 138
5 CAPÍTULO 4 ESTUDO DE CASO 166
5.1 DESCRIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO PRÉDIO EM ESTUDO 166
5.2 SIMULAÇÃO DO CASO BASE 175
5.2.1 **Cenário Climático de Simulação** 193
5.3 ANÁLISE PRELIMINAR DA INSOLAÇÃO SOBRE A EDIFICAÇÃO 195
5.4 COMPARAÇÃO ENTRE O CASO DE REFERÊNCIA MEDIDO E O CASO SIMULADO DE BASE – A CALIBRAÇÃO 197
5.5 ANÁLISE DA SITUAÇÃO ATUAL E ESTABELECIMENTO DE PARÂMETROS PARA CARATERIZAÇÃO DO PRÉDIO EFICIENTE EM TERMOS ENERGIA ELÉTRICA – EFEITOS DA APLICAÇÃO DE VARIAÇÕES PARAMÉTRICAS - SIMULAÇÕES 211
5.5.1 **Cenário 1 - Alterações de cobertura no edifício existente** 215
5.5.2 **Cenário 2 – Alterações de fachada no edifício existente** 221
5.5.3 **Cenário 3 - Mudança de orientação solar no edifício existente** 230
5.5.4 **Cenário 4 - Outras Alternativas** 232
5.5.5 **Cenário 5 - Alternativas Combinadas** 237
6 CAPÍTULO 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA ELABORAÇÃO DE PROGRAMAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM

EDIFÍCIOS 239
6.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES 239
6.2 CONCLUSÕES QUANTO AO PROGRAMA VISUALDOE VERSÃO 2.61 274
6.3 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 278
REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS 287
ANEXOS 297
ANEXO A - *LAYOUT* PADRÃO DA CONSTRUTORA (ANTERIOR A OCUPAÇÃO DA EMPRESA), CORTES E FACHADAS. 298
ANEXO B - SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR 307
ANEXO C - BIBLIOTECA CONSTRUTIVA 338
ANEXO D - BLOCOS E ZONAS 352
ANEXO E - *SCHEDULES* 370
ANEXO F - ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DOS ELEVADORES E TABELA COM O CÁLCULO DE CONSUMO DE ENERGIA 381
ANEXO G - DADOS CLIMÁTICOS DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO CONSIDERADOS NAS SIMULAÇÕES 384
ANEXO H - VISUALDOE *RESULTS* E GRÁFICOS 389

LISTA DE FIGURAS:

Fig. 1.1: Recursos Energéticos 13
Fig. 1.2: Interação entre a empresa, o mercado, sociedade e órgãos de controle ambiental**.** 60
Fig. 1.3: Componentes do critério moderno de qualidade. 60
Fig. 1.4: Método geral de solução preventiva para o edifício inteligente. Adaptado de LORA 63
Fig. 2.1: Perfil típico da carga de ar condicionado de um edifício comercial 112
Fig. 2.2: Conjunto de elementos ligados em circuito fechado no ciclo de refrigeração – representação esquemática. 115
Fig. 2.3: Ciclo do Ar - representação esquemática. 116
Fig. 2.4: *Self Contained* - classificação 117
Fig. 2.5: Ciclo de um sistema de expansão indireta – *Fancoil* 119
Fig. 2.6: Sistema de Volume de Ar Constante e Temperatura Variável - *Fancoil* 121
Fig. 2.7: Sistema de VAV- *Fancoil* 122
Fig. 2.8: Sistema com armazenamento de água 123
Fig. 3.1: Estrutura do Programa DOE-2. 1E 136
Fig. 3.2: *Folder Project* - Editor de dados globais da edificação 140
Fig. 3.3: *Folder Blocks* - Editor de blocos 141
Fig. 3.4: Desenho com as indicações de *FFHt* e *PlnHt* considerados pelo Programa VisualDOE 143
Fig. 3.5: *3D viewer* – visualização em três dimensões do edifício estudo de caso 144
Fig. 3.6: *Folder Zones* - Editor de zoneamento 145
Fig. 3.7: *Folder Façade* - Editor de fachadas 146
Fig. 3.8: *Exterior Shade for Base Case* 148
Fig. 3.9: *Folder Systems* - Editor de sistemas 149
Fig. 3.10: *Central Plant Editors* 150
Fig. 3.11: *HVAC System and Plant Editors* 151
Fig. 3.12: *Supply fan* 152
Fig. 3.13: *Cooling* 152
Fig. 3.14: *Folder Zone Air* - Editor de zoneamento de ar 153
Fig. 3.15: *Day Schedules Folder* - Biblioteca de perfis de utilização 155
Fig. 3.16: *Holidays Folder* - Biblioteca de perfis de utilização 156
Fig. 3.17: *Schedules Folder* - Biblioteca de perfis de utilização 157
Fig. 3.18: *Occupancies Folder*- Biblioteca de perfis de utilização 158
Fig. 3.19: *Climate Editor* - Biblioteca de arquivos climáticos 159
Fig. 3.20: *Constructions Folder*- Biblioteca de dados construtivos 160
Fig. 3.21: *Fenestrations Editor* – Editor de vidros 162
Fig. 3.22: *Miscellaneus Energy Use for Base Case* 164
Fig. 4.1: Implantação da edificação no lote 167
Fig. 4.2: Localização da edificação na malha urbana 168
Fig. 4.3: Vista externa das fachadas - bloco 4, Citta Office 169
Fig. 4.4: Fachada e corte do bloco E – Citta Office 169
Fig. 4.5: Sombreamento por elementos externos a edificação 171
Fig. 4.6: Carta solar para orientação de 5° 196
Fig. 4.7: Carta solar para orientação de 95° 196
Fig. 4.8: Carta solar para orientação de 185° 196
Fig. 4.9: Carta solar para orientação de 275° 196

LISTA DE TABELAS:

Tabela 1.1: Equivalente numérico para cada nível de eficiência (EqNum) 46
Tabela 2.1: Níveis de iluminância médios recomendados pela norma NBR 5413 105
Tabela 2.2: Principais características das lâmpadas 107
Tabela 2.3: Classificação das luminárias 108
Tabela 4.1: Comparativo de áreas úteis antes e após a ocupação 171
Tabela 4.2: Contas de consumo de energia elétrica do edifício estudo de caso - média de 2006 182
Tabela 4.3: Cálculo da potência considerada nos equipamentos utilizados nas Zonas 184
Tabela 4.4: Potência considerada nos equipamentos utilizados nas Zonas 185
Tabela 4.5: Comparação entre dados do vidro existente e do vidro adotado no programa 191
Tabela 4.6: Cálculo de consumo de energia elétrica dos elevadores no programa 193
Tabela 4.7: Comparativo com simulações do número de superfícies externas 202
Tabela 4.8: Modelo teste simplificado – comparativo de consumo de energia elétrica 205
Tabela 4.9: Modelo teste com janelas – comparativo de consumo de energia elétrica em função do teto da cobertura 206
Tabela 4.10: Modelo teste com janelas – comparativo de consumo de energia elétrica em função do teto do terceiro pavimento 207
Tabela 4.11: Adaptação do modelo – comparativo de alturas dos pavimentos 208
Tabela 4.12: Condições estabelecidas usadas no caso simulado de base após a calibração 210
Tabela 4.13: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e proteção externa para prismas centrais 216
Tabela 4.14: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e colocação de pérgulas com vegetação no terraço cobertura 216
Tabela 4.15: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e pérgulas 4m terraço da cobertura 217
Tabela 4.16: Dados técnicos da terra úmida 218
Tabela 4.17: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e substituição telha do telhado e da cobertura por vegetação 218
Tabela 4.18: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e substituição piso cobertura - vegetação 219
Tabela 4.19: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e substituição da laje da cobertura 220
Tabela 4.20: Resultados das alternativas de coberturas simuladas no VisualDOE 220
Tabela 4.21: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e árvores sombreamento das fachadas 222
Tabela 4.22: Comparativo consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e as simulações 9° à 20° 224
Tabela 4.23: Dados Técnicos dos vidros simulados 225
Tabela 4.24: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e brises verticais em vidro fachada Norte 225
Tabela 4.25: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e alvenaria com 40% de vidro incolor 6mm 226
Tabela 4.26: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e alv. 40% de vidro incolor 6mm .40 infiltr. 226
Tabela 4.27: Dados técnicos da parede PARALV efic 227

Tabela 4.28: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e tijolo + isopor 40% de vidro incolor 6mm 227
Tabela 4.29: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e isopor + tijolo 40% de vidro incolor 6mm 228
Tabela 4.30: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e alvenaria com 40% de vidro SS08 228
Tabela 4.31: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e isopor + tijolo com 40% de vidro SS08 229
Tabela 4.32: Indica as alternativas de fachadas simuladas no VisualDOE bem como seus resultados 229
Tabela 4.33: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e o mesmo caso base sem sombreamento externo 231
Tabela 4.34: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base sem sombreamento externo e diferentes orientações do edifício 231
Tabela 4.35: Resultados da mudança de orientação solar no edifício existente simulados no VisualDOE comparado com base case sem sombreamento externo. 232
Tabela 4.36: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e *dimmer* 233
Tabela 4.37: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e *dimmer* antes do racionamento 234
Tabela 4.38: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e *Cooling* desligado no térreo 234
Tabela 4.39: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e fechamento trepadeiras térreo, blocos A e B 236
Tabela 4.40: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e *cooling* desligado CPD e terreo9-split 236
Tabela 4.41: Resultados das outras alternativas simuladas 236
Tabela 4.42: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e somatório das alternativas viáveis. 237
Tabela 4.43: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e alternativas novo projeto 238
Tabela 4.44: Resultados das alternativas combinadas 238
Tabela 5-1: Fórmulas relativas ao fator solar, fluxo térmico por condução, ganho solar pelo vidro e ganho solar total. 261

LISTA DE GRÁFICOS:

Gráfico 1.1: Evolução do consumo de eletricidade de 1990 a 2004 49
Gráfico 1.2: Composição setorial do consumo de eletricidade 50
Gráfico 1.3: Consumo Final de eletricidade 50
Gráfico 2.1: Oferta Interna de Energia, incluindo todos os energéticos disponíveis no BEN 69
Gráfico 2.2: Energia Elétrica – Estrutura da Oferta Interna Segundo a Natureza da Fonte Primária de Geração, Brasil, 2008 70
Gráfico 2.3: Consumo de eletricidade em edificações por usos finais nos setores público e comercial 103
Gráfico 2.4: Participação por Uso Final do Consumo Anual de Energia em Grandes escritórios Americanos 104
Gráfico 4.1: Consumo de energia elétrica por uso final com base na simulação 198
Gráfico 4.2: Consumo mensal de eletricidade em kWh/m² 199
Gráfico 4.3: Consumo de energia elétrica por uso final em kWh/ano/m2 199
Gráfico 4.4: Gráfico de barras representando os consumos de energia elétrica KWh entre base case e as alterações de cobertura no edifício existente desagrupadas 220
Gráfico 4.5: Gráfico de barras representando os consumos de energia elétrica KWh entre o caso base e as alternativas de vidros desagrupados. 230
Gráfico 4.6: Gráfico de barras representando os consumos de energia elétrica KWh entre o caso base sem sombreamento externo e orientações do edifício nos azimutes 45°, 85°, 270° e 315°. 232
Gráfico 4.7: Gráfico de barras representando os consumos de energia elétrica KWh entre o caso base, somatório das alternativas viáveis e alternativas novo projeto. 238
Gráfico 5.1: Gráfico com a influência da vegetação no consumo de energia elétrica. 258
Gráfico 5.2: Gráfico comparando as performances dos vidros simulados com o existente (caso base). 258
Gráfico 5.3: Gráfico comparando os resultados das simulações dos diferentes tipos de paredes e vidros. 268

LISTA DE EQUAÇÕES:

Eq.1.1: Equação numérica ponderando a envoltória, o sistema de iluminação e o sistema de condicionamento de ar. 46
Equação 5-1: Fórmulas relativas ao cálculo do CS (coeficiente de sombreamento). 261
Equação 5-2: Fórmulas relativas ao cálculo do CS`` (coeficiente de sombreamento do conjunto). 262
Equação 5-3: Equação do fluxo térmico total que atravessa o fechamento opaco. 270

INTRODUÇÃO

As crescentes necessidades humanas e seu atendimento adequado, tendo como restrições fatores ambientais, econômicos e sociais, são a principal motivação para a busca de soluções planejadas na área de energia ou recursos naturais, de forma geral. Hoje em dia, a maneira mais econômica de investir em energia é investir em eficiência energética. A eficiência está diretamente correlacionada com a redução de rejeitos do processo de transformação e conversão da energia, tornando a arquitetura menos agressiva ao meio ambiente.

Diversos autores (ROSENFELD, 1997; CLARCKE, 1993; LOVINS, 1979), defendem o aumento da eficiência energética nas edificações, como uma ação com elevados benefícios para a sociedade. Em muitos países, a indução à conservação de energia têm sido feita através de normas e regulações, que obrigam os mesmos a atenderem níveis mínimos de desempenho, inclusive prescrevendo as características de seus equipamentos e componentes de construção.

No Brasil, o Decreto n° 4059 de 19 de dezembro de 2001, emitido pelo Presidente da República, regulamentou a Lei 10295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências, estabelecendo: “níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País, bem como as edificações construídas”. Apontou também a necessidade de “indicadores técnicos e regulamentação específica” para níveis de eficiência energética no país. A etiquetagem do edifício atualmente é voluntária e aplicável a edifícios com área útil superior a 500m² ou atendidos por alta tensão (grupo tarifário A).

Existem atualmente países que estabelecem parâmetros para eficiência energética, através de enquadramento da legislação, para atender as exigências estabelecidas no Protocolo de Quioto. O mesmo impõe um teto para as emissões de CO_2 e outros gases responsáveis pelo aumento do efeito estufa na atmosfera, definindo padrões de eficiência energética em edificações, de forma a melhorar o seu desempenho energético. Visto que, por exemplo, na Europa os edifícios são responsáveis por cerca de 40% do consumo energético (COX e BOEL, 2003).

De fato, as edificações têm uma grande representatividade no consumo global do país, dos recursos extraídos da terra, 60% são consumidos nos edifícios (CIMINO, 2002) e têm sido objeto de análise por diversos profissionais, visando à redução de energia. As edificações estão presentes nos setores comercial, industrial, residencial, público, e como possuem semelhanças entre si, torna-se estrategicamente interessante trabalhos nesta área, apesar de algumas medidas serem específicas de cada setor, várias outras não são, viabilizando a generalização de medidas que visem a eficiência energética, aumentando a abrangência dos resultados.

De acordo com BEN 2009 (O Balanço Energético Nacional, ano base 2008), o consumo de energia nos setores residencial, comercial e público, onde a maioria dos edifícios se encontra, representa 16% do consumo final de energia no Brasil.

Devido ao estilo arquitetônico adotado por uma grande parte dos edifícios de escritórios, utilizando fachadas totalmente envidraçadas, pela densidade de ocupação e os equipamentos utilizados nestas edificações, vários destes prédios brasileiros fazem uso contínuo de ar condicionado. Os sistemas de ar condicionado em edifícios comerciais no Brasil são responsáveis por cerca de 70% do consumo de energia elétrica (LAMBERTS, 2008). Considerando também os sistemas de iluminação esta percentagem pode atingir 86% em bancos e escritórios (GUELLER, 1991). Devido a

este fato e no intuito de minimizar as temperaturas provenientes de ganho solar, é importante adotar estratégias e decisões de projeto, levando em consideração o clima e sua integração com a arquitetura, desde o início do projeto, na fase de programação da construção.

A pesquisa tem como objetivo responder a seguinte pergunta: Quais são as alternativas arquitetônicas para o aumento da eficiência no uso de energia elétrica por edifícios comerciais? Pretende ainda, fazer um diagnostico energético, sugerindo modificações a serem implementadas com o edifício em operação, e em novas edificações. Dentro da lógica do desenvolvimento sustentável, de compromisso com as gerações futuras, respeitando o estilo arquitetônico utilizado em projetos de escritórios atualmente no Rio de Janeiro.

Visando aumentar a eficiência energética em edifícios, são necessários estudos sobre o consumo por uso final da energia. Esta tese aborda o edifício comercial parcialmente automatizado e faz uma comparação deste mesmo prédio utilizando recursos para aumentar sua eficiência energética, minimizando possíveis impactos ambientais. Para se proceder ao estudo do consumo de energia por uso final nas edificações têm-se, principalmente, três caminhos, ou metodologias, são elas: cálculo estimativo, medição e simulação (LOMARDO, 2000).

Ainda segundo LOMARDO, o cálculo estimativo contém simplificações da realidade, sendo muitas vezes indicativo, útil para momentos climaticamente críticos, não permitindo uma visão dinâmica da edificação. A medição pode ser considerada o método mais perfeito, porém mais dispendioso, pois necessita de um período de tempo relativamente longo, com aparelhos medindo os diversos equipamentos, operando simultaneamente. A simulação, embora contenha algumas simplificações, considera a

maior parte das variáveis e apresenta uma grande vantagem, permite a criação de diversos modelos.

A simulação, através de programa computacional, é uma metodologia que amplia os estudos à medida que permite diagnosticar um caso de um edifício real modelado no programa. E então, avaliar seu desempenho energético quando submetido a hipotéticas alterações do seu envoltório (material e forma), do seu uso, emprego da iluminação e de equipamentos, do seu sistema de condicionamento de ar, permitindo uma visão dinâmica associada à realidade climática, a fim de obter grandes ganhos em eficiência energética. Os resultados de uma simulação permitem avaliar, entre outros, evoluções horárias de fluxos de calor, desempenho de elementos do sistema de condicionamento de ar, consumo de energia por uso final, relatórios mensais e índices de desempenho energético.

A simulação é o método indicado uma vez que será comparada uma situação real com situações hipotéticas do mesmo edifício, portanto é o método utilizado nesta tese. Primeiro fez-se à calibração[1] do modelo do prédio inteligente existente, este modelo foi desenvolvido utilizando o *software* VisualDOE 2,61. O primeiro cenário apresenta as alterações de cobertura, o segundo mostra modificações de fachada, o terceiro aplica mudanças de orientação solar, o quarto engloba outras alternativas incluindo a iluminação, o quinto apresenta as medidas combinadas. Do primeiro ao quarto cenário as simulações estão desagrupadas para fins de quantificação de cada medida proposta individualmente.

O objetivo principal deste trabalho é analisar em detalhes as variáveis arquitetônicas que influenciam o consumo de energia elétrica e a eficiência energética em edifícios de escritórios no Brasil. A revisão da literatura mostra vários trabalhos

[1] A calibração consiste em comparar dados de desempenho real com os simulados, a fim de corrigir as variáveis de entrada para melhorar sua fidelidade.

sobre estes materiais e sua relação com a eficiência energética do edifício, mas nenhum deles tem esse foco. A autora compara os impactos (apresentando os resultados em tabelas), causados por decisões relacionadas com a iluminação, fachadas e telhado sobre o condicionamento de ar e no consumo total de energia do edifício.

Espera-se contribuir para esclarecer a polêmica existente em torno do tema edifício inteligente associado à arquitetura que utiliza fachadas em pele de vidro, bem como, a formação de uma cultura que valorize a eficiência energética nos edifícios. Pretende-se com esta análise metodológica apontar os principais aspectos relacionados ao edifício que levam a um acréscimo significativo no consumo de energia elétrica. Bem como, mostrar que se devidamente aplicados os parâmetros de eficiência energética obtém-se resultados visíveis, e assim, contribuir para melhorar o desempenho energético dos edifícios no Brasil, melhorando sua qualidade e minimizando possíveis impactos ambientais.

A adoção integrada de medidas preventivas torna-se mais vantajosa do que as medidas corretivas feitas posteriormente. Especial atenção deve ser dada à fase inicial do projeto arquitetônico. Opções de projetos, que envolvam mudanças de orientação e algumas soluções bioclimáticas, podem não ser viáveis de serem adotadas depois que a construção do edifício esteja concluída. Além disso, como a metodologia de simulação utilizada permite uma avaliação do desempenho energético do edifício, também se torna muito útil em outras fases do projeto, bem como em *retrofits*.

Como são abordados projeto, sistemas de condicionamento de ar e material construtivo, além das estratégias de eficiência energética, este trabalho através da simulação em computador permite experimentar uma gama de possibilidades arquitetônicas, baseadas no desempenho energético da edificação, servindo, portanto de

suporte para decisões de projeto. Os resultados deste trabalho são visíveis e podem ser estendidos para diferentes projetos, sendo útil para estudantes, arquitetos, administradores prediais, consultores em energia e demais agentes envolvidos no processo.

ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO – OS CAPÍTULOS DA TESE

No primeiro capítulo deste trabalho serão apresentados conceitos e definições sobre energia e sua relação com o meio ambiente. Foram revisados os aspectos conceituais, de energia, meio ambiente, impacto ambiental, poluição ambiental, arquitetura bioclimática, conforto ambiental e a importância da eficiência energética para os diversos agentes envolvidos no processo. Finalmente destaca-se a relevância do papel da empresa, dos arquitetos e engenheiros, na tomada de decisão sobre questões energéticas.

O segundo capítulo contextualiza e define a pesquisa, começa de forma abrangente, mostrando a importância da construção civil na economia nacional. Logo a seguir, apresenta a relevância do setor comercial, para então fazer o recorte dedicando-se ao edifício comercial, cuja atividade preponderante é a de escritórios, e só então apresenta o conceito do edifício inteligente. Aborda os métodos de sustentabilidade do projeto, os aspectos relacionados ao edifício e os parâmetros que influenciam o consumo de energia elétrica. Esses conceitos são aplicados no quarto capítulo, onde é feito o diagnostico energético e a simulação.

A simulação como ferramenta para melhorar a eficiência energética em edifícios comerciais, será discutida no terceiro capítulo e aplicada a um estudo de caso no quarto. O terceiro capítulo apresenta a metodologia e comenta sobre modelos de simulação termo-energética de edificações. Introduz o programa VisualDOE, expõe sua base teórica, aborda conceitos importantes sobre carga térmica, e faz uma avaliação deste

software de simulação, usando como referência diversos autores abordados durante o texto. E ainda, descreve os seus módulos e características, visando facilitar sua utilização para usuários não familiarizados com o mesmo.

No quarto e quinto capítulos pode-se considerar que estão as maiores contribuições deste trabalho, pois foi utilizado o *software* VisualDOE 2,61 para fazer as simulações. Primeiramente é feita a modelagem da edificação no *software* cujo resultado foi comparado com a situação existente a fim de fazer a calibração. Então, posteriormente, o projeto foi submetido a alterações que definam uma arquitetura mais adequada ao clima, com a simulação dessas alterações a fim de quantificar o consumo de energia elétrica. Foram introduzidas modificações sugeridas como medidas corretivas, com o objetivo de estimar a sensibilidade das variáveis relevantes, permitindo a comparação e a análise das medidas de eficiência energética.

O último capítulo finaliza comentando estes parâmetros e apresenta conclusões e recomendações para elaboração de programas de eficiência energética em edifícios comerciais climatizados utilizando a eficiência energética como parte integrada do ato de projetar, além de indicar possibilidades para futuro desdobramento desta tese.

CAPÍTULO 1 ASPECTOS HISTÓRICOS E CONCEITUAIS RELACIONADOS COM A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E O MEIO AMBIENTE.

Este capítulo apresenta uma fundamentação teórica com enfoque geral sobre eficiência energética e o meio ambiente, e analisa o estado da arte da eficiência energética, fazendo um histórico desde as crises do petróleo na década de 70 até os dias atuais.

Sem conhecer o uso do fogo, o homem primitivo tinha disponível somente a energia dos alimentos. No momento em que o homem aprendeu a controlar o fogo, ele realizou sua primeira grande conquista energética: passou a utilizar, de forma inteligente, a natureza, se aquecendo, cozinhando e se protegendo com o calor resultante da queima da lenha. Depois do fogo, lentamente, outros recursos naturais passaram a ser aproveitados pela humanidade como fontes de luz, calor e movimento. O homem foi dominando sucessivamente, ao longo de sua história, o uso de fontes cada vez mais nobres de energia.

Durante muito tempo, utilizando as forças disponíveis da natureza e adequando-as a sua localização, o homem pode gerar, transmitir e consumir energia sem alterar significativamente o ambiente global, o uso do espaço e os modos de produzir ou distribuir bens de acordo com os modelos sociais, políticos e culturais prevalecentes.

Até a Revolução Industrial a humanidade evoluiu com um consumo de energia relativamente moderado. A inserção de uma nova tecnologia, a máquina a vapor, no modo de produção provocou uma ruptura no sistema, exigindo uma nova ordem de grandeza no uso da energia.

Além do carvão, como substituto da lenha a partir do século XIX, o uso generalizado do petróleo, junto com a eletricidade, viria assentar, no século XX, as

bases da moderna civilização industrial, fundamentando grande parte da economia no uso de recursos fósseis que a natureza levou milhões de anos para produzir.

Depois da 2ª Guerra Mundial, como recurso adicional para atender à expansão crescente do consumo de energia, foi desenvolvido o aproveitamento tecnológico da energia nuclear como fonte geradora de eletricidade. Esta tecnologia parecia promissora para resolver os problemas da disponibilidade de energia de forma mais barata, comparando-se com outras fontes, e relativamente limpa. Porém a realidade não comprovou isto, os problemas com relação a risco de acidentes e resíduos radioativos ilustram esta situação.

Os primeiros registros sobre o aumento intensivo do uso de fontes energéticas ocorrem com a Revolução Industrial, na Europa Ocidental, durante a segunda metade do século XVIII. Com o advento das máquinas a vapor, o carvão foi elevado à condição de principal fonte primária de energia, com conseqüente diminuição do emprego da lenha, largamente utilizada no continente europeu até meados do século X. Antes disso, o carvão mineral era usado somente para atividades domésticas, em pequena escala, e o homem vivia essencialmente utilizando o fluxo de fontes renováveis de energia como o vento, a água, a energia muscular e dos animais.

Por essa época, os Estados Unidos, que dispunham de um potencial energético considerável representado por recursos hídricos e grandes florestas, começa a traçar um perfil de consumo caracterizado pelo uso intensivo de energia. A exploração americana do carvão se deu depois da européia, contudo o crescimento da produção de minas cresceu de tal forma que, durante o século XIX, o país esteve entre os maiores produtores mundiais.

Também foi nos Estados Unidos, na metade do século XIX, que o petróleo deu os primeiros passos para entrar na matriz energética mundial. Os aumentos sucessivos

de produção, primeiro no próprio território norte-americano e depois no Oriente Médio, tornaram o petróleo uma das principais fontes de energia do mundo, em vista das facilidades econômicas e técnicas de exploração, transporte e armazenamento.

No final do século XIX, o aproveitamento tecnológico da eletricidade marcaria o início de uma nova era da civilização, com a disponibilidade de uma fonte energética que viria, crescentemente, viabilizar inúmeras atividades e processos, desde a iluminação pública, passando pelo desenvolvimento de novos motores, até chegar aos atuais controles eletrônicos. A eletricidade redesenhou os conceitos de processos produtivos na indústria e propiciou o acesso a um novo patamar de qualidade de vida, proporcionado por novos bens de consumo e serviços.

Os recursos hídricos suprem uma parcela da demanda de eletricidade, as outras fontes de energia para a geração elétrica no mundo são o petróleo e o carvão mineral, ambas não renováveis e poluentes. Outras fontes energéticas existentes, como a energia eólica, são utilizadas em menor escala devido a uma serie de limitações. Há ainda em escala muito pequena a energia das marés e a energia geotérmica, sendo que essas duas últimas não são utilizadas no Brasil.

Os equipamentos e sistemas para aproveitamento da energia solar, vem registrando uma queda de preços acentuada nas últimas décadas, devido aos progressos na tecnologia de células fotovoltaicas, mas ainda não é comercialmente competitiva para geração de eletricidade em grande escala. A alternativa encontrada pelos países industrializados foi o aumento da eficiência energética no uso da energia. Esta representa hoje a opção mais segura disponível, diante das incertezas no curto prazo e das tendências de aumento a longo prazo dos preços da energia, além de minimizar os impactos ambientais do sistema energético (La Rovere, 2002).

Contudo, o estudo das atividades humanas demonstra que a tecnologia não é a variável mais importante nos sistemas energéticos, porque eles se submetem a duas influências muito fortes que não conseguem subjugar: a formação das sociedades e as leis da biosfera.

Hoje, a biosfera encontra-se em estado de perigo devido principalmente a duas razões, os riscos de acidentes com enormes conseqüências e os dejetos gerados como subprodutos da geração de energia, com seus efeitos cumulativos e contaminação do meio ambiente.

Os quatro principais riscos ambientais atuais estão associados ao consumo de energia: efeito estufa, pode afetar o clima do planeta; contaminação do ar da cidade pelas indústrias e pelos meios de transporte; chuvas ácidas, causando impactos sobre o solo, rios e lagos; riscos de acidentes em reatores nucleares, resíduos radioativos, desativação das centrais e instalações nucleares e contaminação por radiação. Sendo que, os três primeiros estão associados ao uso de combustíveis fósseis, e o último, a utilização de energia nuclear.

Sem dúvida, a energia está no centro das nossas sociedades modernas. Constitui um elemento essencial do quadro de vida dos cidadãos e um fator importante para a competitividade da economia e para a geração de emprego. Tendo, portanto, a variável ambiental como fator a ser considerado logo de início. A importância da energia pode ser verificada por sua dimensão humana:

- aspecto de segurança nacional, fundamental para promover o desenvolvimento econômico;
- catalisador para redução de disparidades regionais;
- vetor de desenvolvimento, através de eletrificação rural, por exemplo;
- mercadoria: visão das empresas energéticas;

- ecologia: visão que surge na década de 70 com a primeira percepção de problemas ambientais e;
- necessidade humana: tão básico quanto abastecimento de água, transporte e habitação, que por sua vez, também necessitam de energia.

2.1 ENERGIA

Os recursos que brotam ou são extraídos pelo homem da natureza como o carvão, a água, o petróleo, a lenha, entre outros, são chamados de energia primária. O resultado da conversão da energia primária, ou seja, da transformação de recursos naturais em calor, eletricidade, movimento, e outros, é chamado de energia secundária ou energia derivada. Já a energia utilizada pelos consumidores finais (residenciais, comerciais ou industriais), na cidade ou no campo, é denominada energia final ou energia útil. Sendo que algumas fontes de energia primária podem ser utilizadas diretamente, como é o caso da lenha para cocção de alimentos e aquecimento.

O primeiro passo no sentido de atender às necessidades da sociedade é a busca dos recursos energéticos disponíveis na natureza, como apresentado esquematicamente, a seguir.

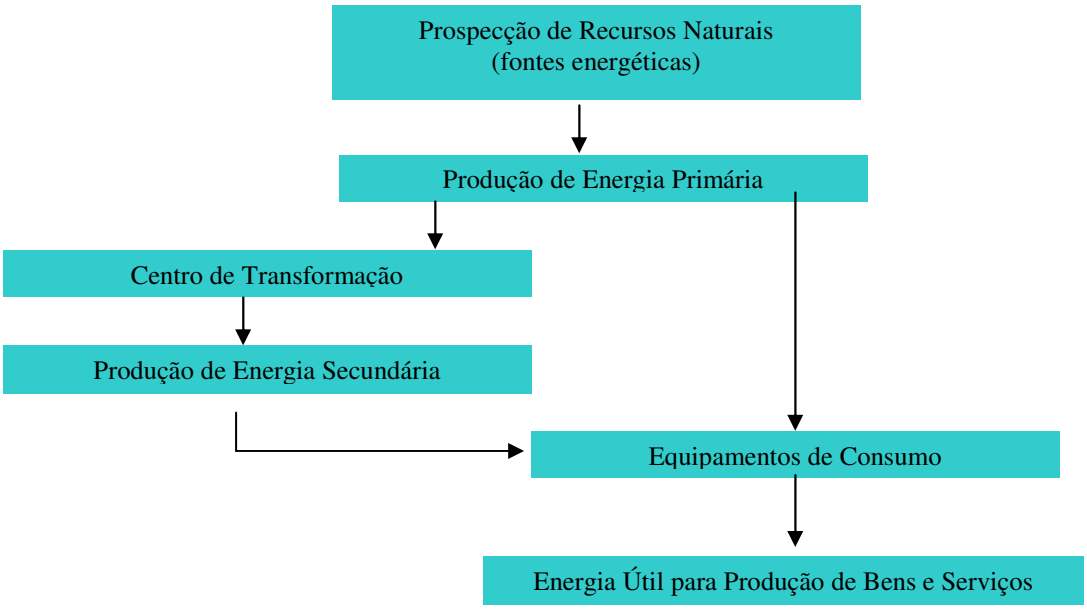
Prospecção de Recursos Naturais
(fontes energéticas)
Produção de Energia Primária
Centro de Transformação
Produção de Energia Secundária
Equipamentos de Consumo
Energia Útil para Produção de Bens e Serviços

Fig.1.1: Recursos Energéticos
Fonte: Adaptado de HINRICHS et al, 2003

Atualmente gera-se energia em usinas, destilarias e refinarias, a partir de diversos recursos naturais, tais como, a água, o vento, o petróleo, a cana-de-açúcar, a lenha, o carvão, o gás natural, os combustíveis nucleares (material radioativo) e as marés. Depois, transporta-se para as grandes e pequenas cidades, já como energia final, na forma de eletricidade, álcool, gasolina, óleo e gás.

Uma das mais importantes características da energia é a sua capacidade de transformação de uma forma para outra. Por exemplo, a energia térmica pode ser convertida em mecânica como acontece com os motores a explosão, a energia química pode ser transformada em energia elétrica, como nas pilhas elétricas comuns e nas pilhas a combustível.

O objetivo é transformar a energia de uma forma de que dispõe-se na natureza para outra de que se necessita. A fim de melhorar a qualidade da energia disponível para o consumidor final, de modo que ela esteja mais concentrada e mais fácil de transportar. A questão é que nem toda a energia pode ser sempre transformada na forma que desejamos. Há sempre perdas, que não significam um desaparecimento da energia, que

é sempre conservada no total. Elas se traduzem no aquecimento provocado pelo atrito nas partes móveis das máquinas.

Porém, mais restritivo que as perdas por atrito, que podem ser minimizadas, é o fato de que jamais pode-se converter toda a energia térmica de que dispõe-se em trabalho. Esta restrição é imposta pelo 2° Princípio da Termodinâmica, também conhecido como lei da entropia. Por essa razão as máquinas térmicas têm rendimento muito inferior às elétricas. Embora a energia sempre se conserve, esse é o 1° Princípio da Termodinâmica, parte da energia térmica permanece como tal e não pode ser convertida em trabalho.

Independente da tecnologia ou da natureza das substancias usadas, onde apenas uma fração de calor pode ser transformada em trabalho, sempre que é utilizada energia aumenta-se a entropia, devido à degradação natural da energia como evolução para a desordem (Clausius).

Define-se também, a segunda lei como, lei da transformação de energia, que pode ser anunciado da seguinte forma: “Na transformação de calor em trabalho, o sentido é sempre do estado térmico mais alto para o estado térmico mais baixo e o rendimento será sempre menor que 100%” (SEVÁ, 1989). Portanto, nessa conversão de forma, há sempre uma perda de energia útil.

A aplicação do conceito de entropia na interpretação das atividades humanas permite compreender a origem dos impactos ambientais da produção e uso de energia. Na verdade, ao efetuar as transformações necessárias à obtenção de uma forma de energia de fácil uso final, o homem tem de pagar um preço pela melhor qualidade da energia desejada, mais nobre, mais concentrada, de manuseio e transporte mais cômodo, como, por exemplo, na passagem de lenha para o carvão vegetal. A luta contra a “desordem” exige a dissipação de uma determinada quantidade de energia, que se perde

fora das fronteiras do sistema. Uma perda sob forma de energia degrada é rejeitada para o ambiente externo.

Então, de acordo com a primeira lei da termodinâmica, a energia é indestrutível e onipresente. Por outro lado, conforme a segunda lei, a qualidade da energia decai (em termos da sua capacidade de realização de trabalho) a cada vez que ela participa de um processo de transformação, envolvendo uma conversão termodinâmica. Existe um aumento continuo da entropia, ou do grau de desordem do universo, conceito criado para quantificar a degradação da energia. A segunda lei da termodinâmica define limites naturais para a eficiência máxima dos processos energéticos em que se realiza trabalho.

Entretanto, na maioria de suas formas, a energia apresenta dificuldade para ser transportada, sendo mais viável ser utilizada no mesmo local em que é produzida. A energia elétrica é a forma de energia transportada com mais facilidade. Por ter esta característica, por ser um tipo de energia que pode ser obtido a partir de todos os outros, e porque também os motores elétricos apresentam grande eficiência, a conversão de energia elétrica em energia mecânica tem grande eficiência, a eletricidade se tornou uma das principais formas de energia utilizadas no mundo de hoje.

Uma das definições de energia é a capacidade de realizar trabalho, sendo que a energia num sistema pode ser apenas parcialmente disponível para o uso. Entre os diversos conceitos de energia, destacam-se os seguintes: propriedade da matéria que se move, e o que se deve pagar para realizar trabalho.

O termo trabalho (força x deslocamento) está sempre permeando estas definições. Essa associação da palavra incorporada pela física com o conceito de trabalho de origem sócio-econômica faz sentido. Decorre da noção de mobilizar as forças da natureza para efetuar as tarefas de transformação da matéria que a força muscular do homem encontrava dificuldades em executar.

Dentre as fontes de energia disponíveis na natureza destaca-se a energia solar. Originada da fusão termonuclear no sol e transportada à Terra sob a forma de radiação eletromagnética. O sol, responsável pelo desenvolvimento e manutenção da vida na Terra, pode ser visto, conforme a nossa escala de tempo, como uma fonte de energia inesgotável. Fonte esta, que deve ser integrada ao projeto de edificações.

A maioria das fontes de energia – hidrelétrica, solar, eólica, biomassa e combustíveis fósseis – podem ser consideradas como aproveitamento direto ou indireto da energia solar. Tem-se a energia nuclear, a energia geotérmica e a energia das marés como exceções. Dentre essas fontes de energia, a nuclear e a dos combustíveis fósseis são consideradas não renováveis e poluentes, existe um estoque finito que acabará num determinado tempo, e as demais são consideradas renováveis e limpas, quer dizer, com relativamente poucos impactos sobre o meio ambiente. Sendo que não se pode deixar de considerar as hidrelétricas com seus imensos reservatórios, causando grande impacto na ocasião de sua implantação, tais como, mudança no clima, inundação de terras férteis e expulsões das populações que ali viviam.

Os organismos sobre a superfície terrestre ou perto dela recebem constantemente a radiação solar e o fluxo de radiação térmica, de grande comprimento de onda, das superfícies próximas. Os dois tipos contribuem para o ambiente climático (temperatura, evaporação de água, movimento de ar e água), mas apenas uma pequena fração da radiação solar pode ser convertida pela fotossíntese em energia para os componentes do ecossistema.

O fluxo diário de energia térmica dentro de um ecossistema (ou recebido por organismos expostos) pode ser várias vezes maior ou consideravelmente menor do que a radiação solar que entra. É enorme a variação no fluxo total de radiação nos diversos

extratos de um ecossistema, ou entre as estações ou locais da superfície terrestre, e a distribuição dos organismos individuais responde conforme essa variação.

A radiação térmica provém de qualquer superfície ou objeto que esteja a uma temperatura acima do zero absoluto. Isto inclui não somente o solo, a água, a vegetação, e o envelope do edifício, mas também as nuvens, as quais contribuem com uma quantidade substancial de energia térmica que é irradiada para os ecossistemas embaixo. A variação diária é de grande significância ecológica. A água e a biomassa tendem a reduzir as flutuações no ambiente energético, tornando assim as condições menos inóspitas para a vida, o que é mais um exemplo da mitigação em nível de ecossistema.

A radiação solar integrada e direta recebida pelo estrato autotrófico – a energia solar recebida pelas plantas verdes durante os dias, meses, ano – é a de maior interesse para a produtividade e a ciclagem de nutrientes dentro do ecossistema. Essa entrada primária de energia é que move todos os sistemas biológicos. A radiação líquida na superfície terrestre é a diferença entre todos os fluxos de radiação dirigidos para baixo e todos os fluxos de radiação dirigidos para cima. Este enorme pacote de energia dissipa-se na evaporação da água e na geração de ventos térmicos (dois importantes processos provocados pela energia solar, que apresentam alta energia incorporada, e influem no conforto dos usuários da edificação), passando finalmente para o espaço sob a forma de calor, de modo a deixar a Terra como um todo num equilíbrio energético aproximado.

Associado à energia tem-se o poder, o fogo e o conhecimento. “O conhecimento – a ciência – leva à conquista do fogo – da energia – e esta confere poder ou potência, o poder de controlar condições naturais e sociais e propiciar o progresso da cultura humana e da ciência” (MACHADO, 1998).

2.2. MEIO AMBIENTE E IMPACTO AMBIENTAL

Após a 2ª Guerra Mundial em diante, a velocidade e a amplitude impressa às atividades econômicas demonstrariam a chegada a um nível tão crescente de consumo dos recursos naturais que, pela primeira vez na história, o equilíbrio ecológico essencial para a vida humana poderia ser seriamente comprometido. Ao ponto que, atualmente, o planejamento energético não pode mais deixar de incorporar a dimensão ambiental, que tende a condicionar crescentemente as decisões sobre produção e uso de energia.

A preocupação com o meio ambiente e o desenvolvimento humano tem como marco de referência a Conferencia Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada em 1972 em Estocolmo. No Brasil, a partir do início da década de 1980, as preocupações ambientais da sociedade começaram a se refletir mais efetivamente em um conjunto de políticas que visavam estabelecer as bases para a conservação dos recursos naturais e os instrumentos de gestão ambiental. Essas políticas foram regulamentadas por diversos textos jurídicos que estabelecem, diretrizes, procedimentos, padrões de qualidade ambiental e etc.

A Constituição Federal de 1988 deu grande impulso à proteção ambiental quando, em seu artigo 225, estabeleceu que “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”.

Desde a primeira conferência da ONU para o meio ambiente, em Estocolmo em 1972, vêm sendo desdobradas ações visando à melhoria e a reversão de tendências negativas da situação ambiental do planeta. A Rio-92 foi um marco com o

estabelecimento da Agenda 21, reforçando o conceito de Desenvolvimento Sustentável[2], já em discussão desde 1988, com a elaboração do relatório Brutland.

O relatório Brutland de 1988, já preconizava a necessidade de sistemas políticos que facilitassem a tomada de decisão internacional de forma mais democrática e cooperativa. Os países ricos deveriam adotar estilos de vida compatíveis com a disponibilidade de recursos naturais e o crescimento populacional deveria ser controlado para estar em harmonia com o potencial produtivo do ecossistema. As políticas das nações deveriam levar em conta os aspectos ambientais, econômicos e sociais em uma agenda integrada.

Desenvolvimento Sustentável foi definido no Relatório Brundtland, resultado do trabalho da Comissão mundial sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (UNCED), em 1988. O conceito de desenvolvimento foi retomado a partir dos critérios formulados na definição de ecodesenvolvimento. Essa concepção enfatiza o dever de solidariedade para com as gerações futuras. Nesse conceito de sustentabilidade inclui-se a dimensão ecológica; econômica; social; tecnológica; cultural e política, com o propósito de relativizar o predomínio do conservacionismo da natureza que marcou a militância ecológica. Essas dimensões da sustentabilidade devem ser consideradas simultaneamente ao se planejar o desenvolvimento.

A evolução do conceito de desenvolvimento foi paulatinamente sendo alterada, descaracterizando a concepção de desenvolvimento como sinônimo de crescimento econômico, atribuindo variáveis qualitativas, principalmente em relação às questões

---

[2] O termo desenvolvimento sustentável expressa uma abordagem mais ampla do desejo por "outro processo de desenvolvimento", indicado anteriormente pela Teoria do Ecodesenvolvimento. Aquele contexto determinava espaço para as questões valorativas na abordagem do processo de desenvolvimento. Trouxe em si a orientação para a satisfação das necessidades materiais e imateriais de toda uma população, baseado na autonomia de decisões e consciente de sua dimensão ecológica.

Embora traga no seu bojo a idéia da solidariedade que marcou a visão do ecodesenvolvimento, o conceito da sustentabilidade define espectro mais largo quando compreende as dimensões ecológica, econômica, social, tecnológica, cultural e política.

sociais e ambientais em sua definição. O desenvolvimento agora não é apenas mais visto como uma medida quantitativa de crescimento econômico de uma nação, ultrapassando os limites da teoria econômica clássica.

Equilíbrios ecológicos frágeis e essenciais para a reprodução da vida no planeta Terra podem ser destruídos pelas atividades humanas, seja pela escala da emissão dos rejeitos poluentes perturbadores dos ciclos biogeoquímicos, seja pela ocorrência de acidentes com conseqüências maciças.

Toda definição de meio ambiente deve incluir o homem. Impacto ambiental pode ser definido como:

> Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas ou biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetem: a saúde, a segurança e o bem estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota[3]; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e a qualidade dos recursos ambientais. (Resolução do CONAMA)

A degradação ambiental causada por poluentes produzidos pela atividade humana é usualmente definida como a introdução pelo humano, no meio ambiente, de substâncias ou energias passíveis de causar danos à saúde humana, aos recursos biológicos e sistemas ecológicos, ao patrimônio estético e cultural e ao uso futuro dos recursos naturais (HOLDGATE, 1979). A interação entre um poluente e o meio receptor resulta em um efeito cuja natureza, escala e importância, bem como sua variação ao longo do tempo, serão objetos centrais da avaliação de seu impacto ambiental.

A diversidade de classificação dos impactos ambientais resulta na dificuldade de sua identificação e quantificação, pois podem ser diretos ou indiretos, pode manifestar-se a curto ou em longo prazo; ser de curta ou longa duração; reversíveis ou irreversíveis; de natureza cumulativa e sinérgicos. Segundo BOLEA (1984) e LA ROVERE (1998),

[3] Biota é o conjunto dos seres animais e vegetais de uma região (Aurélio).

não existe uma prática estabelecida e aceita como base para a avaliação de impactos ambientais. O que existe é uma série de metodologias.

Portanto as dificuldades de identificação dos impactos ambientais, de sua mensuração adequada, juntamente com a subjetividade intrínseca em sua valoração, criam enormes obstáculos à utilização eficaz desses instrumentos metodológicos no processo de tomada de decisão.

Existe uma série de dificuldades relacionadas aos impactos ambientais, vão desde as características de identificação até a quantificação dos mesmos. A quantificação é ainda mais difícil, pois envolve aspectos subjetivos, diferentes grupos e opiniões, e o fato da deterioração ambiental ser completamente dependente da interação poluente – meio ambiente. Os danos resultantes desses impactos atingem a saúde da população, os recursos e sistemas biológicos, o patrimônio cultural e estético e o uso futuro dos recursos naturais.

Pode-se dizer que o problema está principalmente relacionado ao crescimento populacional nos países pobres e aos padrões de consumo, não sustentáveis em longo prazo, nos países ricos. Tal situação está concentrando e piorando a pobreza em muitas regiões do planeta o que estressa, mais ainda, a relação homem – meio ambiente.

É evidente que o maior problema do Terceiro Mundo em matéria de energia consiste em aumentar o baixo nível de consumo da maioria de seus habitantes e que para fazê-lo será até certo ponto inevitável um crescimento da parte do excedente econômico consagrado aos investimentos energéticos. Deve-se tentar uma dissociação entre a taxa de crescimento da economia e o ritmo de aumento da demanda energética.

Os esforços tecnológicos com relação às formas tradicionais de energia foram concentrados inicialmente no desenvolvimento das hidrelétricas e posteriormente na produção de energia elétrica a partir de combustíveis fósseis, tecnologia que assumiu

uma liderança no mundo, que atualmente devido às preocupações com a proteção ao meio ambiente está sendo desafiada.

Apesar da natureza ser bastante eficiente, ela tem um limite na sua capacidade de suporte. O crescimento rápido e mal planejado da produção e do consumo energético leva a impactos ambientais que podem comprometer o desenvolvimento.

Quando o crescimento atinge um nível relativo ao máximo que o sistema pode suportar em relação ao aumento da entropia, o sistema não pode crescer mais (menos energia é direcionada para o crescimento). Este ponto é chamado de capacidade máxima de suporte. A capacidade ótima de suporte é representada no ponto de inflexão onde a taxa de crescimento do ecossistema é máxima. Qualquer mudança nas condições e parâmetros do ecossistema neste ponto são mais rapidamente repostas. A partir daí, a taxa diminui e o tamanho do ecossistema se aproxima da faixa de capacidade máxima. Se o sistema estiver no nível da capacidade máxima, qualquer mudança brusca pode levá-lo ao colapso. Para garantir a capacidade de manobra do sistema (margem de segurança), existe uma capacidade ótima de suporte que é inferior à sua capacidade máxima.

Segundo a hipótese de GAIA, a Terra é um superorganismo vivo e auto-regulador. A Terra se regula por meio dos organismos vivos que controlam sua atmosfera, seus oceanos e sua crosta. Esta teoria foi apresentada em 1972 pelo químico inglês James Lovelock. A evolução das formas de vida e do meio ambiente físico da Terra, portanto, não é uma série de processos independentes, mas parte da evolução de Gaia como um todo. Os danos ambientais infligidos pelos seres humanos desequilibram o sistema, que, assim como o corpo, tem uma capacidade impressionante, porém limitada, de autocorreção.

O fato é que o uso de energia seja através de combustíveis fósseis ou nucleares, ou pela exploração em grande escala da hidreletricidade ou ainda de recursos da biomassa, provoca os mais severos impactos ambientais, inclui poluição do ar, lixo radioativo, sedimentação das bacias dos rios, desmatamento, erosão do solo etc. Tanto os impactos ambientais globais como locais, têm sido identificados como uma restrição potencial ao desenvolvimento.

Deve-se, portanto, tratar a produção e o uso de energia dentro de um enfoque sistêmico, superando uma abordagem limitada ao setor energético. Isto acarreta a necessidade de consideração da componente energética das diversas políticas setoriais, analogamente ao que ocorre com o requisito de uma adequação da inserção da dimensão ambiental no processo de desenvolvimento (La ROVERE, 2002).

Três conseqüências deste fenômeno são particularmente importantes (La ROVERE, 2002):

- desafio de preservar o meio ambiente exige uma tomada de consciência mundial e torna-se extremamente complexo por necessitar de uma ação coordenada a nível internacional;
- planejamento energético terá cada vez mais de incorporar uma dimensão ambiental, que condicionará de forma crescente as decisões a serem tomadas sobre a produção e o uso de energia;
- a curto e médio prazos, é fundamental conter o crescimento do consumo energético dos países industrializados — com 29 % da população mundial são responsáveis por 84% do consumo energético global; por meio de uma ampla política de conservação que promova o uso mais eficiente da energia . Aos países do Terceiro Mundo, caberá evitar o mimetismo com relação à sociedade de consumo dos países industrializados, de todo modo necessariamente restrito ao beneficio de suas elites — com sua ‘poluição de

desperdício' (criação de necessidades artificiais, consumismo, produção de bens cuja própria natureza proíbe sua repartição igualitária, organizando a competição entre os indivíduos) e a inevitável contrapartida da 'poluição da pobreza' da grande maioria da população.

Todos estes fatores têm feito com que os assuntos ambientais sejam vistos como prioritários nas preocupações dos cidadãos. A falta de respostas claras para soluções dos problemas ambientais, faz com que a ênfase atualmente seja na prevenção, a eficiência energética insere-se neste contexto. Isto implica a busca de um estilo de desenvolvimento menos intensivo em energia e uma ampla política de conservação que promova o uso mais eficiente da energia.

A consciência ambiental já provou não ser uma moda passageira, mas uma exigência que a sociedade impõe aos meios de produção e a urbanização. Parece claro, portanto, que uma boa conduta ambiental será imperativa no mundo dos negócios (WIDMER, SANT`ANNA, 1996).

Até a década de 1970, as grandes barragens e centrais hidrelétricas eram consideradas como ícone do desenvolvimento energético e desfrutavam da convicção de serem projetos de baixo impacto com possibilidade de agregar usos múltiplos (atenuação de cheias e abastecimento de água na região circunvizinha, habilitação de áreas para lazer e aquicultura), sem oferecer riscos ambientais como a emissão de poluentes.

Sendo que verificou-se, os impactos atingem os meios físicos, biótico, social e econômico tanto na área do lago como no rio, a jusante da represa. As mudanças produzidas no ambiente construído se encarregaram de demonstrar conseqüências mais drásticas do que se poderia mensurar. O elevado nível de eutroficação[4] associado ao

[4] Eutroficação - aumento de nutrientes na água resultante da decomposição orgânica submersa.

descontrole do grau de assoreamento de rios represados favoreceu, em grande parte dos casos, a proliferação de determinadas espécies vegetais e animais (algas, mosquitos, parasitas), o microclima da região modifica-se, há inundação de terras férteis (nos vales) consequentemente diminuindo a produção agrícola de alimentos, comprometendo o equilíbrio ecológico, transformando o ecossistema, a economia e a qualidade de vida no seu entorno.

Na maioria dos casos, a prioridade dada à geração de energia relegou ao esquecimento as ações complementares do projeto, como a criação de parques de recreação e áreas de aquicultura. A redução da qualidade de vida da população ribeirinha, os baixos valores de indenização paga aos moradores desapropriados ou o deslocamento compulsório para terras menos produtivas acarretaram um nível crescente de empobrecimento e êxodo rural.

Do ponto de vista cultural, gera freqüentemente perdas, com a submersão de sítios arqueológicos, de interesse paisagístico, ou ainda de áreas de reservas indígenas. Devem-se considerar também os impactos causados pelas linhas de transmissão de eletricidade, particularmente longas no caso das hidrelétricas.

Segundo dados do Movimento dos Atingidos por Barragens (MAB), mais de um milhão de brasileiros foram deslocados devido à construção de barragens, sem haver um programa adequado de acompanhamento. Nesse total estão incluídas cerca de 30 mil famílias com processos de indenização ou realojamento ainda pendentes.

A Comissão Mundial de Barragens (CMB) trabalha, na revisão das vantagens técnicas e na elaboração de diretrizes internacionais para instalação de projetos na área hidrelétrica. Resultados de pesquisas recentes apontam um problema a ser considerado: a decomposição orgânica da biomassa submersa nos lagos das represas produz dióxido

de carbono (CO_2) e metano (CH_4) em quantidades similares às termelétricas, quando considerados períodos históricos relativamente pequenos (menos que 100 anos).

Enquanto a maioria dos países ricos usa preferencialmente fontes poluentes, como energia nuclear, carvão e gás natural, o Brasil desfruta de suas bacias hidrográficas, onde 90% da capacidade elétrica instalada do país provêm de grandes hidrelétricas. O problema é que elas causam enorme impacto no meio ambiente, como foi mencionado anteriormente. Com um agravante, pois atualmente no Brasil o potencial hidroelétrico remanescente situa-se na Amazônia, causando inquietação devido à fragilidade dos ecossistemas locais frente aos impactos causados pelas usinas.

A criação de grandes hidroelétricas tem sido discutida em países como o Canadá e o Brasil, estes dois países apresentam plantas distantes dos consumidores, onde o apodrecimento da vegetação submersa nos grandes reservatórios produz uma quantidade substancial de gases de efeito estufa. Um dos principais gases provenientes da decomposição da vegetação submersa é o metano, cinqüenta vezes mais potente que o CO_2. Os projetos de grandes hidrelétricas estão sendo gradativamente abandonados devido aos impactos ambientais.

A importância do assunto emerge da análise do cenário energético mundial, onde se observa que, como insumo fundamental, há uma relação direta entre desenvolvimento humano e consumo de energia (75% da população mundial vive em países em desenvolvimento com uma significativa demanda reprimida) e que o aumento do consumo de energia, com base nos modelos atuais, implica uma série de investimentos que podem resultar em degradação ambiental (poluição, chuva ácida, destruição da camada de ozônio).

Portanto, desenvolver formas de garantir a energia necessária para as necessidades básicas bem como para propiciar melhorias do padrão de vida, segundo

critérios racionais e adequados, é parte fundamental do processo de desenvolvimento sustentável[5] e a eficiência energética se enquadra perfeitamente neste contexto.

Atualmente, o paradigma econômico ainda dispõe de muita força, porém está sendo acrescido do paradigma ambiental. Os conceitos de produção de energia estão passando por fortes mudanças, devido principalmente ao aparecimento de uma consciência ambiental crescente, que está levando à diferentes abordagens utilizadas para escolha de alternativas energéticas.

Compreende-se hoje que toda produção de energia agride ao meio ambiente, com maior ou menor intensidade, uma vez que as transformações energéticas produzem resíduos de naturezas diversas (térmica, química, radioativa, biológica, sonora, visual e outras).

Dentre as principais causas da crise ambiental atual destacam-se o aumento exponencial da população mundial, o aumento exponencial no consumo de energia, a intensificação do processo de industrialização e melhoria da infra-estrutura, o processo de urbanização e aumento da renda que permite com que as famílias comprem aparelhos que consomem energia e os carros que não podiam antes. O desafio a ser enfrentado é o desenvolvimento do terceiro mundo e a conseqüente proteção ao meio ambiente. A energia motor do desenvolvimento econômico é a principal causa da degradação ambiental. Os países desenvolvidos, com maior PNB[6] per capita, consomem muito mais energia que os países em desenvolvimento.

Mesmo com um esforço substancial para o uso mais eficiente da energia, o desenvolvimento econômico futuro ainda acarretará um aumento significativo no uso de energia, pelo menos no mundo em desenvolvimento (GOLDEMBERG, 1995).

---

[5] "O desenvolvimento sustentável satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações de satisfazer suas próprias necessidades". Definição do conceito de desenvolvimento sustentável pela Comissão Mundial das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento.

[6] PNB – Produto Nacional Bruto

Nos países desenvolvidos o consumo de energia per capita é extremamente elevado e continua a aumentar lentamente. Em contrapartida, o crescimento mais rápido está ocorrendo agora nos países em desenvolvimento, onde o uso de energia ainda é baixo comparado com o de países mais ricos. As nações em desenvolvimento representam mais de 80 por cento da população mundial, mas consomem apenas cerca de um terço da energia do mundo. Isso provavelmente vai mudar rapidamente (GOLDEMBERG, 1995).

2.3. POLUIÇÃO AMBIENTAL

"É a degradação do ambiente, ou seja, mudanças nas características físico-químicas ou biológicas do ar, água ou solo que afetam negativamente a saúde, a sobrevivência ou as atividades humanas e de outros organismos vivos". (LORA, 2000).

Segundo a Lei n° 6.938, de 31/07/81, que trata da Política Nacional de Meio Ambiente, poluição é:

> A degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população, criem condições adversas às atividades sócio-econômicas, afetem desfavoravelmente a biota, afetem condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente e lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.

A poluição sempre esteve associada às atividades humanas. Aparece desde o descobrimento do fogo com a conseqüente poluição do ar, intensificando-se com as atividades industriais, até atingir níveis que ultrapassam a capacidade natural de tratamento da natureza, em meados deste século, agravando-se os problemas ambientais que passam de locais e regionais, para problemas de caráter global.

A revolução industrial intensificou os problemas ambientais principalmente por causa da combinação crescimento urbano e industrialização. Após a Segunda Guerra Mundial aconteceu a explosão no consumo, em função do *boom* econômico dos países

industrializados. Verifica-se atualmente e desde 1950, o incremento significativo da quantidade de resíduos descarregados no meio ambiente, o uso indiscriminado de inseticidas e pesticidas e o aumento excessivo do consumo de energia. Todos estes fatores fazem com que os problemas ambientais adquiram uma nova dimensão.

Sem dúvida, o desenvolvimento da ciência e da tecnologia trouxe vários benefícios para a sociedade, conduzindo a melhoria no nível de vida da população. Mas ao mesmo tempo, este desenvolvimento tem provocado uma série de efeitos nocivos sobre o meio ambiente. Assim, faz-se cada vez mais necessário conciliar as vantagens do desenvolvimento, com a conservação do meio ambiente.

A principal característica energética dos ecossistemas controlados pelo homem consiste no fato de que os organismos, os ecossistemas e a biosfera possuem a característica termodinâmica em que eles conseguem criar e manter um alto grau de ordem interna, ou uma condição de baixa entropia. Levando em consideração essa característica termodinâmica, o conceito de produtividade é importante. A produtividade primária é definida como a taxa na qual a energia radiante solar é convertida, pela atividade fotossintética e quimiossintética de organismos produtores, em substâncias orgânicas.

Um outro elemento importante relacionado com a produtividade é o sistema de subsídio energético, concedido pelo homem através do trabalho humano, combustíveis fósseis, etc., representa qualquer fonte de energia que venha reduzir o custo da automanutenção interna do ecossistema, aumentando dessa forma a quantidade de energia de outras fontes que pode ser convertida em produção – isso caracteriza uma forma adicional de energia ao sistema e, portanto um aumento da sua produtividade.

Mas, levando em consideração determinadas condições ambientais esse subsídio pode agir causando prejuízo energético, reduzindo a produtividade. Por isso, faz-se

necessário o investimento em pesquisas de técnicas que visem à redução do consumo de energia, pois se mantido o ritmo atual, corre-se o risco de chegar brevemente a um ponto de contra-produtividade[7].

As atividades humanas têm causado danos ao equilíbrio do ecossistema, principalmente a queima de combustíveis fósseis, o manejo inadequado com a agricultura e o desmatamento. A queima de combustíveis fósseis aumentou a concentração dos óxidos voláteis na atmosfera, como o óxido de nitrogênio (NOx), afetando de forma negativa importantes componentes bióticos dos ecossistemas. A contaminação vai passando pelas plantas, peixes, aves e microorganismos até finalmente prejudicar o próprio homem.

A queima de carvão mineral, bem como os gases emitidos pelos automóveis e por outras combustões industriais aumentam a concentração de óxidos de nitrogênio (NOx), de enxofre (SO2) e de compostos de carbono (CO, CO_2 e CH4) na atmosfera, causando efeitos danosos para o ambiente. A interação do SO2 emitido na atmosfera com o vapor de água, produz gotas de ácido sulfúrico diluído, provocando a chuva ácida.

De forma semelhante, o aumento do CO_2 pode causar danos em nível global, como o aumento do efeito estufa que conduz a alterações climáticas. O desmatamento pode liberar o carbono armazenado, aumentando os níveis de carbono na atmosfera. A presença dos óxidos de nitrogênio também ameaçam a qualidade de vida, uma vez que eles irritam as membranas respiratórias dos animais e dos seres humanos.

Com relação ao ciclo da água, as atividades humanas tendem a aumentar a taxa de escoamento através da pavimentação da terra, da canalização dos rios, da

[7] "O teorema de Illich" ilustra o assunto, no qual, o desenvolvimento da técnica (ou da educação, ou da medicina) era satisfatório no início, um aumento de sua quantidade propiciando uma melhor qualidade de vida: em seguida, atinge-se um limite critico, a partir do qual um aumento de quantidade provoca uma

compactação do solo, reduzindo o recarregamento das águas subterrâneas. No ciclo do fósforo, as atividades humanas aceleram a perda de fósforo, alterando seu ciclo.

Os problemas ambientais que já se enfrentam atualmente tendem a se agravar para situações extremamente complicadas já no século XXI, cuja solução baseia-se mais na prevenção do que na aplicação de ações corretivas. A solução preventiva abrange muitos elementos e sua aplicação é complexa, mas por outro lado, implica em redução de custos e impactos ambientais para a sociedade. Nesses termos, o edifício projetado aplicando princípios da arquitetura bioclimática visando melhorar a eficiência energética, enquadra-se como uma estratégia preventiva.

A questão da degradação ambiental é muito importante numa instância que abala o potencial de desenvolvimento futuro e impõe um problema ético em relação ao que Sachs denominou de solidariedade diacrônica com as gerações futuras (SACHS, 1992).

2.4. ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA E CONFORTO AMBIENTAL

A arquitetura bioclimática tem por objetivo reunir um conjunto de técnicas voltadas a alcançar o resultado térmico, luminico e acústico desejado, sob o ponto de vista do usuário, a partir do clima local. A aplicação dos princípios bioclimáticos no projeto é considerada de grande importância quanto à redução do consumo de energia e emissão de CO_2 no setor de edificações.

> Conforto ambiental em projeto de arquitetura significa, em linhas básicas, o atendimento de algumas das necessidades orgânicas – basicamente acústicas, higrotérmicas, visuais e de qualidade do ar – dos usuários previstos pelo Programa de Arquitetura em suas horas de ocupação, através da compreensão do clima externo e de decisões arquitetônicas compatíveis. Recentemente vem se agregando a questão da sustentabilidade a seu conceito, o que se traduz em novas escolhas de procedimento e materiais que resultem no menor impacto ambiental possível.
> Conforto ambiental, no âmbito da eficiência energética, incorpora um atributo a mais; quando obtido, gera um ambiente saudável ao uso e

---

diminuição da qualidade de vida. Citado no artigo " Um enfoque alternativo para o planejamento energético", LA ROVERE, 1986.

> uma fatura de energia elétrica mínima necessária para complementar os momentos em que o microclima externo não oferece as condições necessárias de iluminação, temperatura, qualidade do ar, umidade ou silêncio (BARROSO-KRAUSE et AL, 2002).

O termo arquitetura bioclimática refere-se a uma forma alternativa de construção de edifícios, que leva em consideração as características climáticas do local da implantação do prédio e também uma série de tecnologias passivas em energia, tais como, aproveitamento da energia solar para conforto interno. O edifício bioclimático deve ser construído de forma que durante o inverno, a exposição a baixas temperaturas seja mínima em função dos ganhos solares serem maximizados; durante o verão a estrutura deve permitir o bloqueio dos raios solares diretos e empregar várias técnicas como ventilação natural cruzada, e emprego de materiais construtivos adequados ao clima.

Sendo assim os modelos da edificação devem se conformar aos impactos favoráveis ou adversos do clima. Desta maneira determinadas formas arquitetônicas são preferíveis a outras na confrontação com os dados do entorno. É necessário o estudo das variáveis arquitetônicas, como forma, função e tipos de fechamento, assim como dos sistemas de condicionamento (climatização) e iluminação. São variáveis que interagem, simultaneamente, com o homem e com o meio ambiente.

Uma das principais funções do projeto de arquitetura considerando o entorno é o de atenuar as condições negativas e aproveitar os aspectos positivos, na construção, oferecidos pela localização e pelo clima reunindo um conjunto de técnicas voltadas a alcançar o resultado térmico, visual e acústico desejado, sob o ponto de vista do usuário visando principalmente dois aspectos, o conforto do mesmo no ambiente interno das edificações e a diminuição do consumo de energia elétrica para condicionamento de ar e iluminação.

Após a formulação das necessidades podem-se procurar soluções tecnológicas que sirvam para bloquear os aspectos adversos e tirar partido das condições vantajosas encontradas, considerando-se o tempo certo e a importância adequada.

O ambiente físico é composto por diversos elementos em um relacionamento complexo. Pode-se tentar descrevê-lo como constituído de: luz, som, clima, espaço e vida. Todos estes fatores agem diretamente no corpo humano, o qual pode absorvê-los ou evitá-los. Este esforço, físico e psicológico, resulta no equilíbrio biológico. O ser humano luta todo o tempo para alcançar o ponto no qual é necessário despender um mínimo de energia para ajustar-se ao seu meio. As condições sob as quais este ponto é alcançado podem ser definidas como "zona de conforto". E está diretamente ligado a produtividade em um ambiente de trabalho.

A contribuição mais importante da visão bioclimática na arquitetura é poder reconciliar a forma, os materiais e a energia considerando o clima local.

A abordagem sistemática das condições propostas pelo bioclimatismo coloca um intricado problema já que o próprio procedimento existe na interface de diversos campos do conhecimento. Como por exemplo, o clima e a arquitetura que são o início e o fim da questão. Ao combinarem-se estes dois campos têm-se, com uma boa margem de segurança, apreciações precisas sobre o desenho final da construção.

Em edificações, o consumo de energia elétrica é necessário para atender aos requisitos de conforto dos usuários, tanto térmico quanto luminoso, e também em equipamentos de circulação (por exemplo, em elevadores e escadas rolantes), comunicação, entre outros. Com um bom planejamento, é possível construir um edifício que demande 45% menos energia comparativamente a outro com características equivalentes. Para tanto, é necessário adequar os recintos habitáveis às condições

climáticas locais, usando materiais e técnicas apropriadas, tendo em vista o uso racional de energia PROCEL (1994).

Para a completa integração dos fatores mencionados faz-se necessário a ajuda de instrumentos de síntese[8], dentre eles destacam-se os programas de computador, através dos quais, podem-se simular casos visando obter o melhor projeto dentro do contexto proposto. Estes instrumentos serão os guias para escolher, a partir do clima local e das exigências de conforto térmico, uma tradução em termos de projeto como implantação, volumetria, envelope construtivo e distribuição interna dos espaços, decisões que são fundamentais e pertencem ao início da concepção arquitetônica.

Ressalta-se que para a elaboração do projeto bioclimático é necessário pensa-lo simultaneamente em planta (método tradicional do arquiteto), mas também em elevação, pois é no sentido vertical que acontecem a maior parte dos efeitos do clima. Orientação, materiais envolventes, proteção externa e interna, ventilação e iluminação naturais são importantes elementos a serem considerados.

Embora pareça um conceito novo de arquitetura, é tradicionalmente utilizado desde antiguidade, como por exemplo, no desenho das cidades romanas de acordo com a orientação solar ou os pátios interiores de origem árabe. Tem raízes na arquitetura tradicional ou vernacular, baseada no empirismo e conseqüentes artes de construir ancestral. A arquitetura bioclimática reflete a compreensão e a reflexão sobre as condições locais, antes de construir e habitar. Os conceitos básicos são importados de uma época em que a inexistência de tecnologias de climatização e iluminação artificiais implicava uma construção eficiente, otimizada para o local de implantação.

A influência das condições climáticas sobre as diversas atividades do homem, e sobre seu abrigo, pode ser verificada ao longo do tempo. Constata-se que em vários

[8] Instrumentos de síntese tais como, Diagrama de Givoni, Carta Bioclimatica de Olgyay , Tabela de Maroni, programas de simulação termoenergética, entre outros.

lugares as edificações do passado eram mais bem adaptadas ao clima local, se comparada com as de hoje. OLGYAY, em 1953, no seu *paper* chamado *´Bioclimatic approach to architecture`*, pretendeu sintetizar produções relevantes relacionadas ao tema nas diferentes áreas da ciência. Foi OLGYAY quem cunhou o termo arquitetura bioclimática, que expressa uma atitude projetiva, considerando o ser humano, o clima e sua integração no projeto.

A partir de certa época, determinadas correntes da arquitetura começaram a ter uma influência sobre o mundo. Identifica-se uma mudança de hábitos no século 20, quando a arquitetura deixa de trabalhar com o clima para conferir conforto térmico e lumínico e passa a garantir conforto através de novas tecnologias, como a lâmpada fluorescente e o ar condicionado.

O arquiteto franco-suíço Le Corbusier lançou as bases do movimento moderno de características funcionalistas e utilizou em seus projetos o teto jardim que pode ser considerado uma contribuição para arquitetura bioclimática e o desenvolvimento sustentável. A pesquisa que realizou envolvendo uma nova forma de enxergar a arquitetura baseado nas necessidades humanas revolucionou a cultura arquitetônica do mundo inteiro.

O conceito de terraço-jardim foi de aproveitar a última laje da edificação como espaço de lazer. Utilizando a vegetação para melhorar o conforto térmico e enriquecer a área de lazer. Em diversos projetos o isolamento térmico da cobertura do edifício foi feito por meio de pérgulas com trepadeiras de folhas caducas fornecendo sombra no verão. Os terraços jardins utilizavam plantações pensadas como parte integral da estrutura do edifício. Le Corbusier coloca com clareza os efeitos que as árvores fazem nas fachadas das edificações.

Um outro dispositivo de sombreamento sistematizado pelo arquiteto Le Corbusier, o brise-soleil, foi um dos principais elementos compositivos utilizados pela arquitetura moderna, sendo ele próprio um ícone de movimentos arquitetônicos como o international style. Exemplos de alguns edifícios brasileiros produzidos nesta época, onde estes mecanismos de controle solar se convertem em elementos de definição formal, são: a Associação Brasileira de Imprensa e o Ministério da Educação, no Rio de janeiro de Le Corbusier, a Estação de Ferroviária de Porto Alegre de Reidy & Moreira e o Hospital para Estrangeiros do Rio de Janeiro de Paulo Antunes Ribeiro.

O brise-soleil (quebra-sol, é comum a utilização apenas da palavra brise) é um dispositivo arquitetônico utilizado para impedir a incidência direta de radiação solar nos interiores de um edifício e controlar a luminosidade, de forma a evitar aí a manifestação de um calor excessivo. Caracteriza-se como uma série de lâminas, móveis ou não, localizadas em frente às aberturas (área envidraçada) dos edifícios. Os móveis permitem a sua regulagem para aumentar ou diminuir a insolação no cômodo. O brise-soleil é um mecanismo de controle solar e lumínico que define a proposta estético-formal do projeto, podendo gerar soluções arquitetônicas interessantes.

Após a crise energética de 1973 (o custo da energia, a emissão de gases na atmosfera, e os impactos ambientais vivenciados atualmente) torna-se importante estabelecer critérios de projeto, que garantam à arquitetura uma identificação maior com o lugar considerando o indivíduo, de forma a necessitar menos de equipamentos tecnológicos para garantir condições de conforto.

Todos esses fatores estão forçando uma mudança de hábitos. O principal motivo, estimulador desta volta ao passado, a ser considerado é a diminuição do custo de manutenção do edifício como resultado do menor consumo de energia elétrica (YEANG et al, 1994). Conforme observa Lim in RHEINGANTZ (2000), a utilização da energia é

um dos fatores de maior importância quanto à procura por locação desses espaços, os outros são, localização, data da construção, dimensões, estacionamento e diferencial. Além disso, projetar edifícios mais confortáveis e integrados ao meio ambiente é bem visto pela opinião pública.

Por estes motivos, observa-se que ultimamente, a importância do clima aplicado no projeto vem aumentando significativamente e têm se tornado tema de estudo para diversas pesquisas científicas. Arquitetos e engenheiros vêm sentindo a necessidade do conhecimento de dados climáticos com a finalidade de produzir análises mais sofisticadas e detalhadas da edificação. Sendo que, no Brasil, a resposta que a edificação dará às condições climáticas do local onde será implantada, ainda é relegada a um segundo plano.

2.5 A IMPORTÂNCIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

As medidas de conservação de energia no Brasil têm, historicamente, sido efetivadas pelo governo federal como uma forma de enfrentar crises geradas externamente. Têm-se como exemplo, o aumento dos preços do petróleo, o risco de racionamento e o aumento das taxas de juros que afetaram as indústrias de geração, intensivas em capital. A ação fora dos períodos de crise têm sido pequena.

Atualmente mesmo com a situação dos suprimentos mundiais de energia encontrarem-se menos crítica, a transitoriedade dessa situação, aliada aos sérios problemas ambientais associados à geração, transformação/transporte e utilização de energia, faz com que as preocupações relacionadas ao uso eficiente da energia continuem a ser um importante componente da política energética de qualquer país.

Ter eficiência energética significa utilizar menos energia para realizar a mesma tarefa. Quanto mais eficiente for o uso da energia através de uma economia, resulta em menos dinheiro gasto com energia por consumidores residenciais, comerciais,

industriais, escolas, entidades governamentais, entre outros. Este dinheiro economizado pode ser usado para outros fins, tais como, consumo de bens materiais, lazer, educação, serviços e produtos.

Após as crises de petróleo nos anos 70, mudanças conjunturais e estruturais no cenário internacional, problemas financeiros e um aumento de exigências ambientais, os países começaram a buscar alternativas energéticas para diminuir sua dependência dos países exportadores de petróleo. Neste sentido, procuravam-se energias alternativas, principalmente, de fontes nacionais, e começou, recentemente com mais importância, a tratar do uso eficiente de energia.

Um uso eficiente de energia (ao longo de toda cadeia energética, começando da energia primária, secundária e final até a energia útil) leva a algumas vantagens consideráveis, tais como: diminui custos; diminui a degradação ambiental; ajuda avançar no desenvolvimento socioeconômico e promove um futuro sustentável de energia no Brasil.

No caso especial da energia elétrica podem-se ampliar os impactos positivos mais ainda: economizar eletricidade custa menos que fornecê-la; contribui para reduz a probabilidade de falta de energia; reduz a necessidade de investir no setor público; investir na eficiência do uso final é menos intensivo do que construir usinas elétricas e linhas de transmissão; ajuda as indústrias e os produtos brasileiros a competirem no mercado mundial (reduzindo os custos e, além disso, ficando mais interessante por ser eficiente para os clientes estrangeiros).

No Brasil, o fornecimento de energia primária é dominado por dois tipos de energia: petróleo e hidroeletricidade. A dependência forte desses dois tipos apresenta problemas incluindo a vulnerabilidade a choques de preços no caso de petróleo, e altos custos de capital e alguma vulnerabilidade a secas no caso de hidroeletricidade.

O fornecimento de energia é muito capital intensivo e compete com outros investimentos como, por exemplo, na saúde pública, educação, construção de casas, etc. Reduzir a pobreza e melhorar as condições de vida são os maiores objetivos para o Brasil. A pobreza é mais presente nas áreas rurais, onde uma fração significativa dos domicílios ainda não tem acesso à eletricidade. Muitas famílias de baixa renda usam predominantemente lenha como fonte de energia.

Em novembro de 2003 foi lançado o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica com o desafio de acabar com a exclusão elétrica no país. A meta era levar energia elétrica para mais de 10 milhões de pessoas do meio rural até o ano de 2008, tendo sido atingida em maio de 2009. O Programa é coordenado pelo Ministério de Minas e Energia, operacionalizado pela Eletrobrás e executada pelas concessionárias de energia elétrica e cooperativas de eletrificação rural.

Objetivo do governo é utilizar a energia como vetor de desenvolvimento social e econômico destas comunidades, contribuindo para a redução da pobreza e aumento da renda familiar. A chegada da energia elétrica facilitará a integração dos programas sociais do governo federal, além do acesso a serviços de saúde, educação, abastecimento de água e saneamento. Durante a execução do Programa, novas famílias sem energia elétrica em casa foram localizadas e, em função do surgimento de um grande número de demandas, o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso a Energia Elétrica foi prorrogado para ser concluído no ano de 2010.

A queima de combustíveis produz poluentes do ar como NOx, hidrocarbonetos, CO, SOx, particulados e metais tóxicos. A instalação de hidroelétricas inunda florestas e campos agrícolas e pode deslocar sua população, usinas nucleares produzem resíduos radioativos. As emissões de CO_2 e de outros gases de efeito estufa ainda são baixas, no Brasil, por falta de um emprego maior de combustíveis fósseis. Mesmo assim, as

emissões de gases de efeito estufa estão aumentando e contribuem ao aquecimento da atmosfera.

Atualmente, muitas barreiras inibem uma eficiência maior e um desenvolvimento de energias renováveis, incluindo a disponibilidade limitada de produtos, custos altos para tecnologias novas, falta de consciência e financiamento adequado. Para superar estas barreiras precisa-se de algumas iniciativas políticas para incentivar o setor privado a investir num futuro energético sustentável.

Uma grande variedade de tecnologias para a conservação de energia está disponível comercialmente no Brasil. Algumas outras tecnologias já estão disponíveis, mas ainda passam por desenvolvimento e aperfeiçoamento.

Podem-se distinguir quadro grandes setores: a indústria, o comércio, o transporte e as residências. Cada um desses setores indica um panorama diferente de uso de energia. Assim, cada um representa alternativas para aumentar sua eficiência energética. Neste trabalho aborda-se o setor do comércio, especialmente os edifícios de serviços.

Os setores público e comercial usam principalmente eletricidade como forma de energia para satisfazer suas necessidades. Os consumidores de baixa tensão no setor de serviços pagam a mais alta tarifa de eletricidade do Brasil, que proporciona um grande incentivo à conservação de energia. A utilização principal da eletricidade é apresentada por iluminação, condicionamento de ar e refrigeração GUELLER (1994). Existe um potencial grande de economizar eletricidade nestes setores. Ultimamente, alguns progressos no aumento da eficiência, principalmente na iluminação, foram feitos. A iluminação excessiva é comum no Brasil. Muitos prédios públicos possuem densidade de iluminação de 45 W/m², onde 10 W/m² seriam considerados suficientes GUELLER (1994).

As edificações dos setores residencial, comercial e públicas são responsáveis por aproximadamente 45% do consumo de energia elétrica no Brasil, que se dá principalmente em forma de iluminação artificial e climatização de ambientes PROCEL INFO (2010). A economia de eletricidade conseguida por meio da arquitetura bioclimática pode chegar a 30% em edificações já existentes (se passarem por readequação e modernização) e a 50% em prédios novos, que contemplem essas tecnologias desde o projeto PROCEL INFO (2010).

Considerando que diversos edifícios de escritórios utilizam fachadas totalmente envidraçadas, a maioria dos edifícios de escritório faz uso contínuo de funcionamento mecânico de ar condicionado GUELLER (1997). Os sistemas de ar condicionado em edifícios comerciais no Brasil são responsáveis por cerca de 70% do seu consumo de energia elétrica LAMBERTS (2008). Considerando também os sistemas de iluminação esta percentagem pode atingir 86% em bancos e escritório GUELLER (1991). Dado este fato e no intuito de minimizar as temperaturas provenientes de ganho solar, é importante adotar estratégias e decisões de projeto, levando em conta o clima e sua integração com a arquitetura, desde o início da primeira fase de programação do projeto de construção TZIKOPOULOS (2005).

A eficiência energética do sistema de condicionamento térmico encontra-se diretamente relacionada às características das edificações, clima, uso e tipo de condicionador de ar. Através da interação destas características é possível determinar o desempenho energético e o conforto térmico das edificações. O desempenho energético está ligado às trocas de calor da edificação com o meio ambiente, que variam de acordo com a temperatura ambiente, velocidade dos ventos, radiação solar e umidade relativa do local, além das condições de ocupação e de operação da edificação.

Muitas providências podem ser tomadas para reduzir o consumo de eletricidade para o condicionamento de ar: reduzir a entrada de radiação solar e calor aos prédios; ventilação natural do ambiente quando a temperatura e a umidade permitirem; aumento da eficiência dos sistema de condicionamento e um controle melhor da utilização dos aparelhos. Os condicionadores de janela produzidos no Brasil, em geral, são bastante ineficientes em comparação a outros tipos de aparelhos e com os padrões internacionais.

Uma técnica alternativa consiste no armazenamento de calor, que é prática para reduzir a carga em horário de pico e do custo total de eletricidade em edifícios comerciais, embora o consumo total de eletricidade não seja afetado. A idéia é produzir e armazenar água gelada ou gelo à noite fora dos horários de pico. A água gelada é usada durante o dia e nos horários do pico. Existem possibilidades no desenho dos edifícios que ajudam a diminuir o consumo de energia elétrica: a limitação do número de janelas voltadas para as fachadas de maior ganho solar, a proteção nas janelas, o isolamento do teto e das paredes, o uso de áreas reflexivas e de ventilação natural e a redução de iluminação artificial.

Muitos países industrializados e alguns países em desenvolvimento adotaram padrões para edificações com um requerimento mínimo de eficiência. Estes padrões geralmente se aplicam ao valor da transferência térmica total da fachada do edifício, à eficiência dos equipamentos de aquecimento e condicionamento de ar e à intensidade de carga instalada para iluminação.

A Eletrobrás/Procel e o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro) lançaram a Etiqueta de Eficiência Energética em edifícios comerciais, de serviços e públicos de metragem superior a 500 m², ou atendidos por alta tensão (grupo tarifário A), incluindo edifícios condicionados, parcialmente condicionados e não condicionados. Os prédios são classificados de ‘A’ a

‘E’, sendo ‘A’ o mais eficiente, a adesão é voluntária. O processo iniciou-se no 1º semestre de 2009.

A Etiqueta de Eficiência Energética em edificações faz parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). O objetivo é incentivar a elaboração de projetos que aproveitem ao máximo a capacidade de iluminação e ventilação natural das construções, levando a um consumo menor de energia elétrica. Assim como os eletrodomésticos que fazem parte do PBE, os projetos de arquitetura serão analisados e receberão etiquetas com graduações de acordo com o consumo de energia.

Procel Edifica: Plano de Ação para Eficiência Energética em Edificações visa construir as bases necessárias para racionalizar o consumo de energia nas edificações no Brasil. Em uma de suas vertente de ação – Subsídios à Regulamentação - são determinados os parâmetros referenciais para verificação do nível de eficiência energética de edificações.

Nesta vertente desenvolveu-se o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e seus documentos complementares, como o Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RAC-C), ambos publicados pelo Inmetro, e o Manual para aplicação do RTQ-C.

O RTQ-C contém os quesitos necessários para classificação do nível de eficiência energética do edifício. O RAC-C apresenta o processo de avaliação das características do edifício para etiquetagem junto ao Laboratório de Inspeção acreditado pelo Inmetro. É o documento que permite ao edifício obter a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) do Inmetro. É formado por duas etapas de avaliação: etapa de projeto e etapa de inspeção do edifício construído, onde se obtém a autorização para uso da etiqueta do Inmetro.

Para receber a etiqueta, as edificações são avaliadas em três níveis de eficiência: envoltória, sistema de iluminação e sistema de condicionamento de ar. A intenção é aproveitar melhor as chamadas energias passivas: a iluminação e a ventilação naturais, além de incentivar o uso racional de água e de energia solar. Dessa forma, a etiqueta pode ser concedida de forma parcial, desde que sempre contemple a avaliação da envoltória.

O RTQ-C apresenta os critérios para classificação completa do nível de eficiência energética do edifício através de classificações parciais da envoltória, do sistema de iluminação e do sistema de condicionamento de ar. Uma equação pondera estes sistemas através de pesos estabelecidos no regulamento e permite somar à pontuação final bonificações que podem ser adquiridas com inovações tecnológicas, uso de energias renováveis, cogeração ou com a racionalização no consumo de água.

Para definição do nível de eficiência dois métodos podem ser utilizados: o método prescritivo e o método de simulação. O método prescritivo contém equações e tabelas que limitam parâmetros da envoltória, iluminação e condicionamento de ar separadamente de acordo com o nível de eficiência energética pretendido. Já o método de simulação baseia-se na simulação termoenergética de dois modelos computacionais representando dois edifícios: um modelo do edifício real (edifício proposto em projeto) e um modelo de referência, este último baseado no método prescritivo. A classificação é obtida comparando-se o consumo anual de energia elétrica simulado para os dois modelos, sendo que o consumo do modelo do edifício real deve ser menor que do modelo de referência para o nível de eficiência pretendido.

As exigências contidas no RTQ-C devem ser avaliadas por um laboratório de inspeção designado ou acreditado pelo Inmetro, de forma que este verifique as características projetadas e construídas do edifício para indicar qual o nível de eficiência

alcançado pelo mesmo. O RAC-C apresenta os métodos de avaliação, os procedimentos para submissão para avaliação, direitos e deveres dos envolvidos, o modelo da ENCE, a lista de documentos que devem ser encaminhados, modelos de formulários para preenchimento, dentre outros, contemplando as duas etapas de avaliação, de projeto e do edifício construído.

A concessão da etiqueta será realizada nas diferentes fases do edifício: projeto de nova edificação; edificação existente. A etiqueta será dividida em quatro partes: envoltória, sistema de iluminação, sistema de condicionamento de ar e a edificação (ou parte desta). A etiquetagem de eficiência energética de edifícios deve atender aos requisitos relativos ao desempenho da envoltória, à eficiência e potência instalada do sistema de iluminação e à eficiência do sistema de condicionamento do ar.

Além destes, há uma opção alternativa de classificação através da simulação computacional do desempenho termoenergético de um modelo do edifício proposto para ser etiquetado. Parcelas de edifícios podem também ter a envoltória, o sistema de iluminação e o sistema de condicionamento de ar avaliados, porém separadamente, recebendo uma classificação parcial do nível de eficiência referente a cada um destes itens. Os pesos estão distribuídos da seguinte forma:

- Envoltória = 30%
- Sistema de Iluminação = 30%
- Sistema de Condicionamento de Ar = 40%

O nível de classificação de cada requisito equivale a um número de pontos correspondentes, assim atribuídos:

Tabela 1.1: Equivalente numérico para cada nível de eficiência (EqNum)

PT	Classificação Final
≥4,5 a 5	A
≥3,5 a <4,5	B
≥2,5 a <3,5	C
≥1,5 a <2,5	D
<1,5	E

Portanto, a classificação geral do edifício é calculada de acordo com a distribuição dos pesos através da Eq. 1.1:

$$PT = 0{,}30.\left\{\left(EqNumEnv.\frac{AC}{AU}\right)+\left(\frac{APT}{AU}.5+\frac{ANC}{AU}.EqNumV\right)\right\}+0{,}30.(EqNumDPI)+0{,}40.\left\{\left(EqNumCA.\frac{AC}{AU}\right)+\left(\frac{APT}{AU}.5+\frac{ANC}{AU}.EqNumV\right)\right\}+b\,{}^{1}_{0}$$

Eq.1.1: Equação numérica ponderando a envoltória, o sistema de iluminação e o sistema de condicionamento de ar.
Fonte: Regulamento técnico da qualidade do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos (RTQ-C).

Onde:
EqNumEnv é o equivalente numérico da envoltória;
EqNumDPI é o equivalente numérico do sistema de iluminação, identificado pela sigla DPI, de Densidade de Potência de Iluminação;
EqNumCA é o equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar;
EqNumV é o equivalente numérico de ambientes não condicionados e/ou ventilados naturalmente (ver item 6.2.2);
APT é a área de piso dos ambientes de permanência transitória, desde que não condicionados;
ANC é a área de piso dos ambientes não condicionados de permanência prolongada;
AC é a área de piso dos ambientes condicionados;
AU é a área útil;
b é a pontuação obtida pelas bonificações, que varia de zero a 1.

Na equação acima evidencia-se o uso dos pesos, observa-se que o sistema de condicionamento de ar tem um peso maior que a da envoltória e iluminação individualmente.

Na fórmula para a classificação do nível de eficiência da envoltória são consideradas a transmitância térmica, cores e absortância de superfícies, iluminação zenital, a zona bioclimática[9] onde se localiza a edificação, a área de projeção do

[9] Zona Bioclimática: região geográfica homogênea quanto aos elementos climáticos que

edifício, sua forma e volumetria, proteções solares verticais e horizontais (ângulos de sombreamento), fator solar do vidro e o percentual de abertura na fachada total.

Para a classificação do sistema de iluminação além da potência instalada são considerados os seguintes aspectos: divisão dos circuitos, contribuição da luz natural e o desligamento automático do sistema de iluminação. A forma do volume, áreas dos ambientes e o sistema de iluminação caracterizado pelo conjunto luminária, lâmpada e reator também são ponderados. Ou seja, são avaliados a eficiência e o projeto luminotécnico.

Na classificação do sistema de condicionamento de ar o sombreamento das unidades condensadoras é levado em conta, além da eficiência dos equipamentos que deve ser avaliada pelo PBE-Inmetro. O resfriamento de ar de cada zona térmica deverá ser individualmente controlado por termostatos respondendo à temperatura do ar da referida zona. A automação deve ser considerada para acionar ou desativar o sistema. Sistemas de condicionamento de ar servindo diferentes zonas térmicas destinadas à operação ou ocupação não simultânea devem ser divididos em áreas isoladas.

Todos esses itens interferem diretamente na eficiência energética da edificação e devem ser considerados inicialmente no projeto. Este processo de implementação do Programa de Etiquetagem para Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos está sendo ampliado para edificações residenciais. As atualizações estão previstas para ocorrer de forma periódica. As versões futuras dos regulamentos irão permitir que inovações sejam incorporadas, métodos de avaliação sejam melhorados e que o nível de eficiência ótimo seja gradualmente elevado de forma a acompanhar a evolução tecnológica.

A atuação da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (criada em 1997) deve ser considerada nesse contexto de política de conservação de energia elétrica. Em

---

interferem nas relações entre ambiente construído e conforto humano.

uma de suas linhas de atuação a ANEEL define a regulação de programas de combate ao desperdício de energia elétrica e de pesquisa e desenvolvimento, estabelecendo vários tipos de projetos de combate ao desperdício de energia elétrica.

Pelo lado da demanda destacam-se os projetos que objetivam reduzir o consumo global e/ou específicos nos setores: industrial, comércio/serviços, residencial, poder público, classe rural, projetos institucionais relacionados com o uso final (concentração de recursos em projetos de iluminação pública e atividades de marketing). Pelo lado da oferta[10] estão os projetos relacionados com o sistema elétrico da concessionária, com ênfase no aumento da oferta em sistemas de distribuição (concentração de projetos visando a redução de perdas comerciais e técnicas e implementação de novas modalidades tarifárias/melhorias no fator de carga).

Atualmente, a ANEEL determina que a concessionária destine 1% da receita operacional líquida anual para investimentos em eficientização, sendo 50% destinados a pesquisa e a metade restante para programas de otimização. Os instrumentos de medida econômica são importantes ferramentas para viabilizar o atendimento das metas de aumento da eficiência do uso da energia.

Mas, apenas ¼ desse 1% precisa ser investido em programas de eficiência energética do uso final que ajudam aos consumidores utilizar a eletricidade mais eficiente. Seria recomendável aumentar a porcentagem de investimento em eficiência energética pelas distribuidoras no uso final. Este fundo pode ser usado para estimular investimentos por domicílios, comércio e indústrias; para promover financiamento para as ESCOs; para ajudar a estabelecer um mercado de medidas inovadoras de eficiência energética; para divulgar informações; para promover treinamento, etc.

[10] Conceitualmente, projetos pelo lado da oferta são aqueles cuja implantação ocorre em instalações que estão sob controle das concessionárias.

A oferta de programas para o setor privado foi viabilizada pela resolução 492 da ANEEL, que define os critérios para que as distribuidoras de energia apliquem os recursos reservados para eficientização. Fornecendo linha de crédito em boas condições para financiar a implantação dos processos e equipamentos produtivos mais eficientes no uso da energia.

O consumo de energia tem crescido ao longo dos anos, como pode ser observado no gráfico 1.1, onde o número 1 corresponde ao ano de 1990, 2 ao ano de 1991 e assim por diante até 2004.

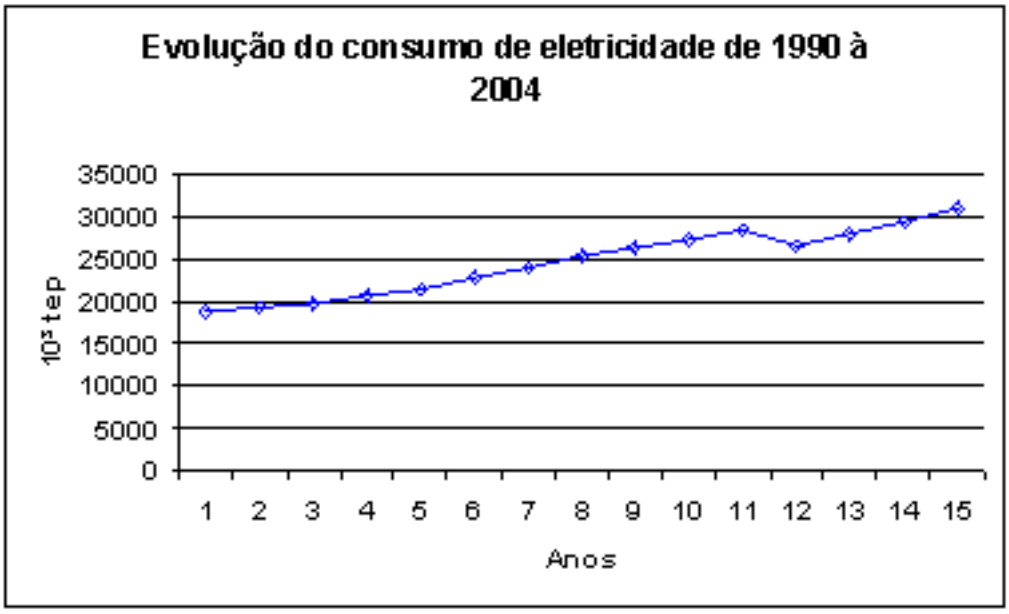

Gráfico 1.1: Evolução do consumo de eletricidade de 1990 a 2004.
Fonte: Elaboração da autora com base nos dados do BEN, consultado em 28 de junho de 2007.

Para entender melhor as oportunidades de conservação de energia elétrica no Brasil, precisa-se saber como a eletricidade é usada no país. Em 2004, o setor industrial consumiu 47,9% do consumo total da eletricidade (30923 mil tep), o setor comercial 13,9%, o setor residencial 21,9%, o setor energético 3,6%, o setor público 8,4% e outros (agropecuário e transportes) 4,4%. Verifica-se o consumo expressivo de energia elétrica nos setores residencial, comercial e público, o que justifica investimentos em eficientização energética por medidas de conservação economicamente competitivas.

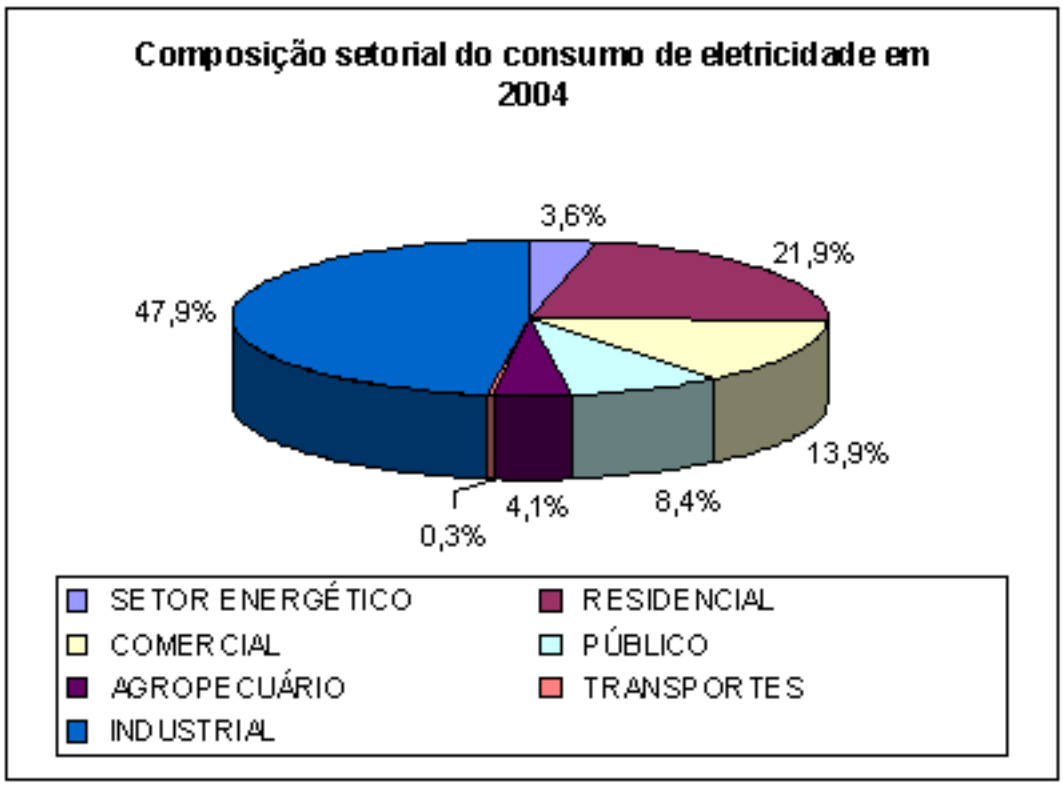

Gráfico 1.2: Composição setorial do consumo de eletricidade
Fonte: Elaboração da autora com base nos dados do Balanço Energético Nacional, consultado em 28 de junho de 2005.

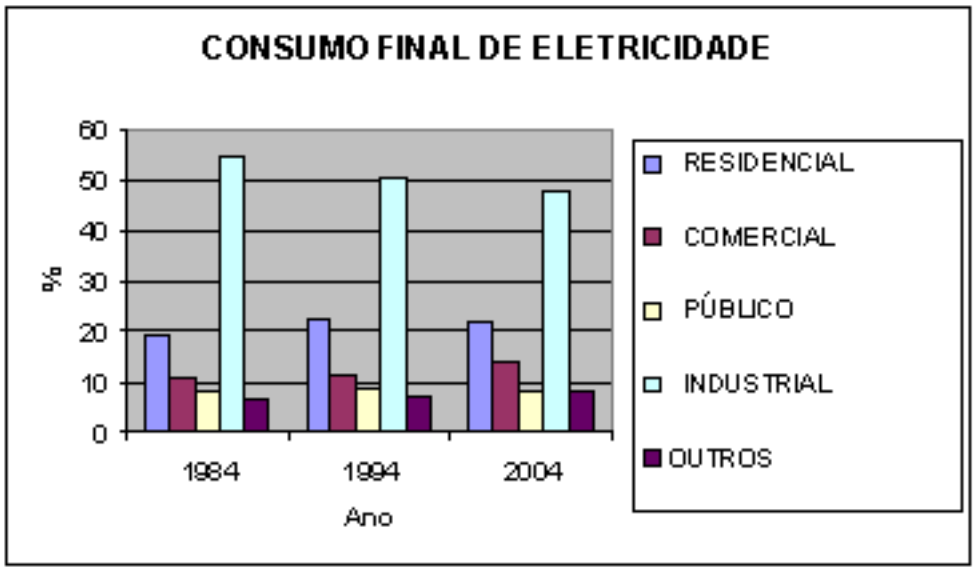

Gráfico 1.3: Consumo Final de eletricidade
Fonte: Elaboração da autora com base nos dados do Balanço Energético Nacional, consultado em 28 de junho de 2005.

Uma economia que usa menos energia consequentemente produz menos poluição, porque consumo de energia e poluição estão intimamente associados. Nos edifícios, por exemplo, ser eficiente significa utilizar menos energia para condicionamento de ar e iluminação do prédio. Também significa adquirir aparelhos mais eficientes, desde os computadores, motores e compressores até sistemas de controle da edificação. Em todos os casos, em última análise, ser eficiente é economizar dinheiro e recursos naturais.

Dentre as ações do Programa de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica - PROCEL, pelo lado da demanda, destacam-se: programas de etiquetagem para informar os consumidores sobre o consumo médio dos eletrodomésticos; concessão de selos de eficiência objetivando influenciar na escolha dos consumidores; apoio à substituição por equipamentos mais eficientes, design de edifícios comerciais eficientes, uso de lâmpadas incandescentes, iluminação eficiente; programas de eficiência energética em edifícios públicos e; campanhas de marketing para modificar hábitos de consumo.

No caso da energia elétrica que é o caso estudado neste trabalho, a promoção do seu uso mais eficiente propicia a redução dos recursos financeiros necessários à expansão do sistema, minimiza os impactos ambientais decorrentes de sua construção e operação, e ainda contribui para o desenvolvimento, aumentando a qualidade e a produtividade.

Além do termo eficiência energética emprega-se também, conservação de energia e uso racional da energia. O importante é o conceito ser entendido de maneira abrangente, associado a outros fatores, viabilizando economia de recursos, tais como, água ou através da reciclagem de resíduos.

Na acepção científica, o termo conservação de energia refere-se ao Princípio da Física que estabelece que a energia total do universo é constante, para qualquer sistema

fechado. Dessa forma, a energia pode somente mudar de forma: energia cinética transforma-se em energia potencial, energia potencial transforma-se em energia cinética, energia interna transforma-se em calor ou trabalho. Assim, a energia não pode ser criada ou destruída, somente transformada.

Na terminologia técnica da área de Engenharia, o termo conservação de energia refere-se a técnicas e procedimentos que visam reduzir o desperdício e o uso ineficiente da energia, principalmente elétrica, sem comprometer o conforto e/ou a produção. Essa área tecnológica tornou-se emergente, principalmente, depois da crise do petróleo na década de 1970, quando a elevação dos preços desse insumo alterou substancialmente a estabilidade das estratégias de obtenção dos recursos necessários para garantir a sustentabilidade do processo de desenvolvimento.

A eficiência energética deve agir tanto no que diz respeito à eliminação de desperdícios (curto prazo), quanto no aumento da eficiência energética de equipamentos, sistemas, edificações e processos produtivos (início no curto prazo e efeitos a médio e longo prazos) e ainda na cultura de racionalização energética baseadas na educação, legislação, financiamento e política de preços (permanente).

Medidas simples podem ser facilmente implementadas, tais como, evitar deixar luzes acessas e aparelhos funcionando desnecessariamente, através da instalação de sensores de presença[11], entre outros mecanismos de controle, melhorar o funcionamento de sistemas de produção e consumo, evitando que motores e equipamentos em geral estejam mal regulados, também é de fácil implementação.

Outras formas de atuação para racionalizar o uso da energia apresentam maior complexidade. A restruturação do aparelho produtivo na indústria e a restruturação do aparelho de consumo buscando a eficiência do uso de energia, a exploração de formas

[11] Embora a utilização de sensores de presença deva ser analisada com critério, pois o fato de ligar e desligar constantemente não é saudável para lâmpadas fluorescente.

alternativas de satisfação da mesma necessidade social e a mudança de valores são sem dúvida necessárias, porém mais complexas (LA ROVERE, 2002).

Conceber uma habitação, um espaço para trabalho, edifícios residenciais e comerciais com usos reduzidos de energia, direta ou indiretamente, por meio de materiais de fabricação com conteúdo energético favorável, através do aumento da vida útil e facilidade de manutenção, bem como, através do projeto de arquitetura apropriado para minimizar o consumo de eletricidade na iluminação e no condicionamento de ar, são medidas reestruturadoras do aparelho de consumo fundamentais para economia de energia.

Algumas medidas são de difícil implementação, pois vão de encontro com a dinâmica de acumulação capitalista, como por exemplo, o aumento da vida útil do produto, atinge-se o cerne do processo de obsolescência planejada que faz parte da dinâmica do sistema capitalista. Outras são mais viáveis, como o edifício ecológico[12] baseado em uma arquitetura sustentável, desde que apresente rentabilidade aceitável para todos os agentes econômicos envolvidos.

Existem estudos aplicados à demanda final de energia por setor econômico, os quais se baseiam na maior eficiência energética de equipamentos mais modernos para reduzir o consumo de energia elétrica. Para o setor comercial, estes estudos mostram que é possível diminuir a demanda de energia em até 50%, com projetos de edifícios energeticamente mais eficientes, PATUSCO (BEN, 2003).

De modo geral, como foi visto, existe um potencial muito alto para reduzir o consumo de energia no Brasil. Porém, uma variedade de barreiras técnicas, econômicas, institucionais e de comportamento inibem a maior adoção das medidas de conservação de energia no país. Essas barreiras afetam todos os setores, embora sua importância

[12] Ver definição no segundo capítulo desta dissertação.

varie de setor para setor. As barreiras mais importantes até recentemente são listadas abaixo:

- instabilidade econômica desestimula análises de ciclo de vida e investimentos ao longo prazo e estimula um fornecimento de custo inicial mínimo;
- falta de competição, preços subsidiados da eletricidade;
- falta de consciência quanto a eficiência energética pelo usuário final por falta de informação;
- responsabilidades divididas, quem escolhe o equipamento a ser comprado pode não ser a mesma pessoa responsável pelo pagamento dos custos de energia;
- falta de tecnologia adequada ou de infra-estrutura;
- falta de incentivos financeiros para as utilidades, e consumidores para comprar um equipamento mais eficiente;
- sensibilidade ao custo inicial.

Algumas dessas barreiras foram reduzidas nos anos passados (inflação, falta de consciência e condições gerais). Os mercados se abriram e a competição começou a surgir. Muitos consumidores agora pagam preços relativamente altos para a eletricidade, e a consciência e disponibilidade de medidas de eficiência energética aumentaram.

De qualquer forma, diante do contexto brasileiro e global, permanece relevante reforçar as medidas no sentido de combate ao desperdício de todas as formas de energia, através da redução de perdas e do aumento da eficiência do uso final da energia nos diversos setores econômicos, nas residências e em edifícios comerciais. A sociedade civil tem um papel de fundamental importância no uso eficiente da energia e a consciência ambiental vem estimulando esse uso e deve ser mais difundida.

A participação da sociedade civil no uso eficiente da energia abre um campo imenso para o exercício da cidadania pelos indivíduos e suas associações, na realização

de esforços de conservação como sua contribuição para um desenvolvimento sustentável, cabendo destacar (La ROVERE, 2002):

- esforço pessoal/coletivo para racionalizar o uso de energia. Para tanto é fundamental estar informado sobre seu consumo energético direto — na casa, escola, local de trabalho; e indireto — embutido nos bens e serviços que utiliza; e
- a cobrança de atitudes e medidas consistentes do Poder Público, da classe política e das empresas no sentido de aumentar a eficiência energética da economia brasileira.

Os resultados da eficiência energética podem ser expressos tanto em termos de efeitos econômicos diretos, como em termos indiretos (qualidade de produtos, geração de empregos e menor impacto ambiental). A estratégia de conservação de energia num país como o Brasil, em crescimento, pode reduzir as necessidades de fornecimento capital-intensivo em energia.

Apesar da tese sobre o uso eficiente da energia ser facilmente justificada, existe a dificuldade quanto à obtenção de avanços práticos, uma vez que não está ligada a resultados visíveis em curto prazo. Os resultados, geralmente, são percebidos através de estatísticas abstratas e têm um lapso de tempo longo em nível macro. Atualmente com os programas de simulação energética sendo difundidos estes resultados podem ser quantificados a nível pontual, dos edifícios.

Muitas barreiras inibem uma eficiência maior, incluindo a disponibilidade limitada de produtos, custos altos para tecnologias novas, falta de consciência e financiamento adequado. Para superar estas barreiras precisa-se de algumas iniciativas políticas, que vem aos poucos sendo disponibilizada, para incentivar o setor privado a investir num futuro energético sustentável.

De modo geral, existe um potencial muito alto para reduzir o consumo de energia elétrica. Porém, uma variedade de barreiras técnicas, econômicas, institucionais e de comportamento inibe a maior adoção das medidas de conservação de energia no Brasil. Essas barreiras afetam todos os setores, embora sua importância varie de setor para setor.

O investimento em tecnologia eficiente para vários usos finais requererá maiores gastos de capital e os sistemas e equipamentos eficientes são, geralmente, mais caros que as tecnologias que substituem. Entretanto, o custo de conservar 1 kwh é, de modo geral, mais barato que sua produção. O uso mais eficiente da energia na indústria e nos serviços traz quase sempre benefícios adicionais para as empresas em termos de economia de tempo e matéria-prima, criação de empregos qualificados e aperfeiçoamento do produto final, contribuindo para a elevação da produtividade global da economia (La ROVERE, 2002).

É nesse contexto global que a promoção do uso mais eficiente da energia é de importância fundamental no Brasil de hoje, por três razões principais (La ROVERE, 2002): Economia de investimentos; minimização de impactos ambientais e; contribuição ao desenvolvimento, aumentando a qualidade e a produtividade.

Investimentos em eficiência energética tendem a ser incrementais e modulares, com pequeno prazo de retorno, possibilitando a implementação de medidas que representem economia de energia e de recursos em período inferior ao de construção de uma unidade de produção/geração. Entretanto, uma barreira à implantação de medidas de eficiência energética é a dificuldade de acesso a financiamentos, em relação aos empreendimentos de energia convencional.

A motivação ecológica que fundamenta a eficiência energética (uso racional de energia) tem uma forte componente política internacional que coloca em confronto os

países desenvolvidos, que já montaram sua estrutura econômica e os países em desenvolvimento, que precisam investir em produtos energo-intensivos. O uso mais eficiente de energia é uma das formas mais econômicas de tratar este problema ambiental, e pode ser objetivo de programas internacionais com esta preocupação.

A busca de estilos de desenvolvimento menos intensivos em energia, através da promoção de amplas políticas de conservação de energia, é cada vez mais necessária. Visto que existem impactos ambientais significativos associados a todas as fontes de energia. Bem como, faz-se necessário a participação da sociedade na avaliação e aceitação dos riscos tecnológicos e ambientais.

O aumento da eficiência energética e a conseqüente redução do consumo de energia permitem à humanidade "ganhar tempo", podendo decidir diante de uma gama de tecnologia como o desenvolvimento de novas energias e renováveis, de um programa nuclear mais seguro, de tecnologias de redução de emissões de CO_2 etc. Tudo isso, em presença de uma melhor informação sobre os risos climáticos reais.

O consenso é de que a redução da intensidade energética da economia é atualmente a maneira mais eficaz de preservar o meio ambiente e evitar a pilhagem do patrimônio natural, além dessas vantagens o uso mais eficiente da energia fundamenta-se pela economia de investimentos e contribuição ao desenvolvimento, aumentando a qualidade e a produtividade. A eficiência energética se consubstancia como fator decisivo de gestão de impactos e riscos ambientais.

Entretanto, é fundamental o questionamento sobre a viabilidade de um modelo de desenvolvimento menos intensivo em energia, sobretudo nos países em desenvolvimento, onde todas as hipóteses de desenvolvimento conduzem, em virtude da forte dinâmica demográfica e da elevação progressiva do padrão de vida da população urbana, a um aumento no consumo de energia.

Investimentos em eficiência energética é uma estratégia prudente e recomendável, na ausência de uma definição precisa dos riscos climáticos ligados ao aumento do consumo de energia. O aumento da eficiência energética possui significativas vantagens como: permite retardar no tempo a escolha de tecnologias energéticas (limpas), constitui-se em um dos melhores meios de reduzir os impactos da energia sobre o meio ambiente e de garantir um crescimento econômico com bases mais sustentáveis.

2.6 A EMPRESA E O MEIO AMBIENTE

A visão de gestão ambiental pelo segmento empresarial se dá a partir de uma função gerencial global que trata, determina e implementa a política de meio ambiente estabelecida pela empresa. A preocupação está em estabelecer políticas de qualidade, inclusive à de meio ambiente, buscando definirem diretrizes e estratégias que conduzam as atividades da empresa na consecução dos objetivos do desenvolvimento sustentável.

A política ambiental de uma empresa pode ser definida como os seus objetivos globais e diretrizes em relação ao meio ambiente. Deve expressar um compromisso formal junto à sociedade que define as intenções e princípios de cada empresa em relação ao seu desempenho ambiental. Deve incluir o compromisso com a melhoria contínua, a prevenção contra a poluição e o atendimento à legislação e às normas ambientais.

A política ambiental é uma forma da organização explicitar seus princípios em relação ao meio ambiente e a sua contribuição para a solução racional dos problemas ambientais. Ela deve fazer parte do planejamento estratégico da empresa e da elaboração dos seus planos de marketing. Trata-se de ferramenta importante para o desempenho e sucesso da empresa, incluindo a sua imagem.

Os objetivos ambientais, isto é, os objetivos específicos que a empresa pretende alcançar com relação ao seu comportamento ambiental fazem parte da abordagem de gestão ambiental empresarial. O processo de gestão ambiental empresarial deve ser entendido como o conjunto de medidas e procedimentos que, se adequadamente aplicados, permitem reduzir e controlar os impactos produzidos pela empresa no meio ambiente (suas atividades, produtos e serviços). Além disso, deve permitir ou contribuir para a melhoria contínua das condições ambientais, de segurança e de saúde ocupacional. São os elementos da função global de gestão que determinam e implementam a política ambiental da empresa. Nasce como uma "extrapolação da visão de gestão administrativa da empresa".

Tomando como partida os princípios e diretrizes adotadas pela política ambiental, é possível partir para a estruturação do sistema de gestão ambiental, que seja parte do sistema global da empresa e inclua na sua estruturação: atividades de planejamento, responsabilidades, práticas, processos e recursos para desenvolver, implementar, atingir, analisar criticamente e manter a política ambiental da empresa e seus objetivos.

A questão ambiental deve ser considerada, atualmente, como um elemento a mais da competitividade. O conceito de qualidade total engloba, não só a qualidade intrínseca do produto, mas também a qualidade ambiental. A empresa esta inserida e interagindo com a sociedade, que por sua vez, está cada vez mais atenta às questões ambientais.

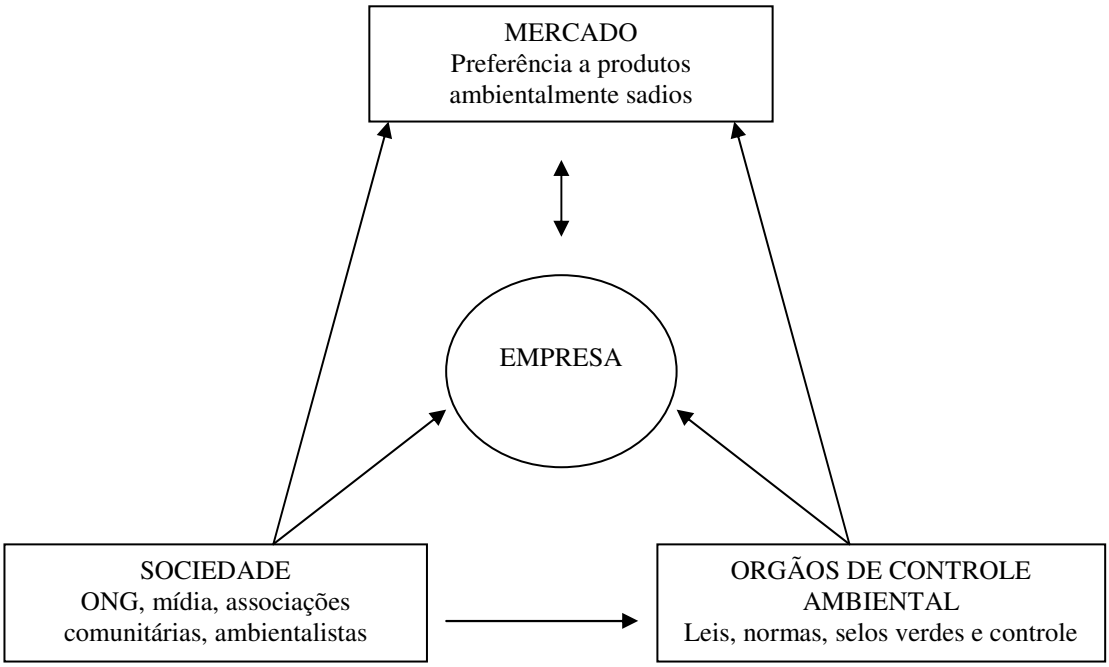

Fig.1.2 –Interação entre a empresa, o mercado, sociedade e órgãos de controle ambiental.

Fonte: LORA, 2000.

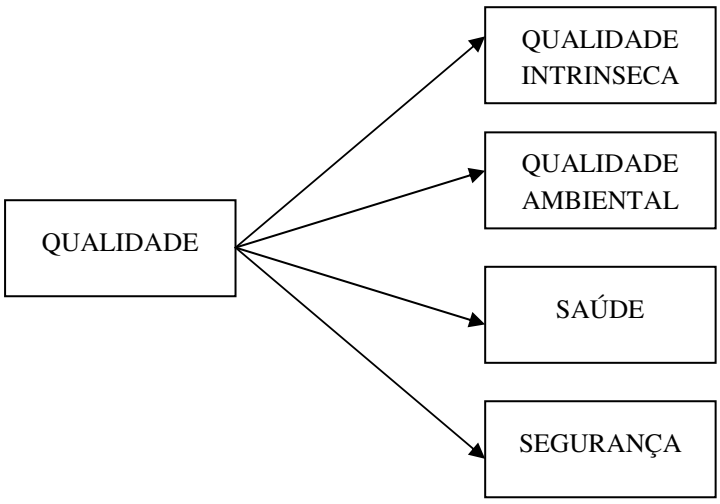

Fig.1.3 – Componentes do critério moderno de qualidade.
Fonte: LORA, 2000.

Atualmente a questão ambiental se torna uma oportunidade adicional de negócios, passa a ser uma fonte adicional de eficiência e competitividade. As empresas assumem uma postura cada vez mais pró-ativa em relação ao meio ambiente. Neste contexto enquadra-se o edifício ecológico inteligente que algumas construtoras já estão procurando investir.

A responsabilidade social empresarial é um tema de grande relevância nos principais centros da economia mundial. Nos Estados Unidos e na Europa proliferam os fundos de investimento formados por ações de empresas socialmente responsáveis. O *Sustainability Index*, da *Daw Jones*, por exemplo, enfatiza a necessidade de integração dos fatores econômicos, ambientais e sociais nas estratégias de negócios da empresas. Normas e padrões certificáveis relacionados especificamente ao tema da responsabilidade social, como as normas AS 8000 (relações de trabalho) e AA 1000 (dialogo com partes interessadas), vêm ganhando crescente aceitação (FLORIM e QUELHAS em ENGEVISTA, 2004).

Verifica-se uma tendência principalmente em países do primeiro mundo, a um interesse crescente por parte dos donos do empreendimento, arquitetos, engenheiros e incorporadores, pela melhoria da qualidade do projeto e das técnicas de construção, bem como utilização das inovações tecnológicas, dentro do orçamento alocado para determinada obra.

Segundo a analise de REIS (1996), apud LORA (2000) sobre o assunto:

"Os consumidores, principalmente no primeiro mundo, estão dando preferência a produtos ambientalmente sadios, sobretudo os que possuem estruturas oficiais de certificação de qualidade ambiental (selos verdes), mesmo que pagando preços maiores".

Quando a empresa, especialmente a construtora ou incorporadora, assume um comportamento pró-ativo em relação à postura ambiental, provavelmente encontrará melhores resultados operacionais (conservação da matéria e energia), maior aceitação pelo mercado e conseguirá obter uma racionalização dos investimentos ambientais. As conseqüências dessa postura são entre outras, maior satisfação dos empregados, atração

de investidores e acionistas, acesso a financiamento favorecido e ampliação da participação no mercado.

As questões ambientais estão ocupando posição de destaque nos meios de comunicação, onde a informação está cada vez mais globalizada tendendo ao estabelecimento de valores universais. A criação de Indicadores (sociais, econômicos, qualidade e ambientais), normas e padrões fazem parte do esforço realizado para disseminar a responsabilidade empresarial no Brasil. Servem de instrumentos de avaliação para empresas, reforçam a tomada de consciência dos empresários e da sociedade brasileira em relação ao tema.

A eco-estratégia empresarial gera novas oportunidades de negócios, deve englobar o melhoramento do desempenho ambiental, incluindo a conservação e proteção dos recursos naturais, a minimização de resíduos, e adotar o princípio de melhoria contínua. O projeto que considera o meio ambiente e busca uma solução preventiva, melhora a imagem da empresa diante dos consumidores, das comunidades vizinhas, da imprensa e do público em geral. Pode apresentar maior ou menor retorno financeiro, dependendo do contexto, mas necessitam de investimentos iniciais, nem sempre compensados totalmente com os benefícios econômicos resultantes. Certamente a prevenção implica em custos decrescente para a sociedade já que contribui para amenizar os problemas ambientais.

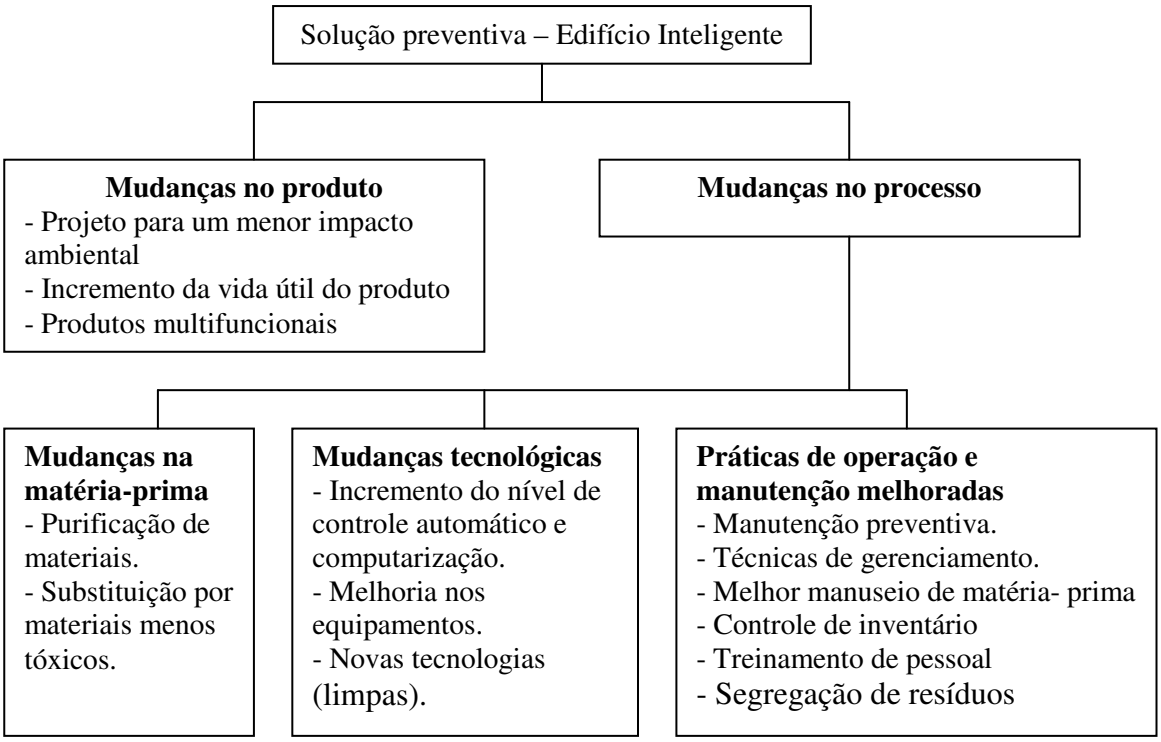
Solução preventiva – Edifício Inteligente
Mudanças no produto
- Projeto para um menor impacto ambiental
- Incremento da vida útil do produto
- Produtos multifuncionais
Mudanças no processo
Mudanças na matéria-prima
- Purificação de materiais.
- Substituição por materiais menos tóxicos.
Mudanças tecnológicas
- Incremento do nível de controle automático e computarização.
- Melhoria nos equipamentos.
- Novas tecnologias (limpas).
Práticas de operação e manutenção melhoradas
- Manutenção preventiva.
- Técnicas de gerenciamento.
- Melhor manuseio de matéria- prima
- Controle de inventário
- Treinamento de pessoal
- Segregação de resíduos

Fig. 1.4: Método geral de solução preventiva para o edifício inteligente.
Fonte: Adaptado de LORA, 2000.

Devem-se reconhecer os impactos ambientais de determinada obra como medida de qualidade da mesma, e introduzir as exigências ambientais já na primeira etapa do projeto da mesma. O setor empresarial é parte da abordagem tripolar do mundo contemporâneo: governo, sociedade e empresa. A gestão ambiental é tarefa de todos, que evolui para a perspectiva da gestão da sustentabilidade.

3 CAPÍTULO 2 – CONTEXTUALIZAÇÃO E DEFINIÇÃO DA PESQUISA

> *Os edifícios estão entre os maiores, mais complexos e duráveis produtos criados pelos humanos. Seu propósito é garantir abrigo para as atividades humanas, portanto, eles devem responder aquilo que, depois da comida, é uma das necessidades primárias humanas*[13]

Este capítulo mostra a importância da construção civil e do setor comercial na economia nacional. Aborda o conceito do edifício inteligente, o edifício de escritórios e os aspectos de projeto que influenciam o consumo de energia elétrica por edifícios comerciais.

3.1 A CONSTRUÇÃO CIVIL - O SETOR COMERCIAL - PRÉDIO COMERCIAL – EDIFÍCIO DE ESCRITÓRIOS

Aquecimento, refrigeração, ventilação e iluminação consomem aproximadamente 40% da energia primária de uma nação. Se quantificados os materiais e energia embutidos no processo construtivo, esta parcela de consumo torna-se ainda maior. Fazendo com que o setor da construção represente um grande potencial de preservação de recursos e energia (KUA e LEE, 2001).

Diante da escassez de recursos naturais e impactos ambientais decorrentes do uso da energia, faz-se necessário promover a melhoria da eficiência energética nos edifícios, ou a utilização racional da energia. Deve cobrir todos os tipos de consumo, desde a água quente para banheiros e cozinhas (utilização básica de maior consumo nos edifícios residenciais), passando pela iluminação e pelos equipamentos e eletrodomésticos (acesso aos resultados dos avanços tecnológicos), sem esquecer a melhoria do envolvente do prédio, tendo em vista o impacto deste nos consumos de condicionamento de ar para assegurar as condições de conforto ambiental.

No Brasil, a construção civil desperdiça muito material gerando um excesso de resíduos (ARAUJO, 2000). Tal desperdício pode ser exemplificado: através do entulho

não desprezível gerado em várias obras; pelo consumo elevado de energia no canteiro de obras (ligações improvisadas e muitas vezes mal feitas que acarretem fuga significativa de tensão); ou da água consumida em excesso nas instalações provisórias do canteiro. Há, ainda, o desperdício financeiro ocasionado por eventuais paralisações de obras.

Em particular, no que se refere à mão-de-obra para a produção de edifícios, afirma-se persistir uma situação bastante indesejável quanto aos índices de desperdício observados em obras brasileiras. A má formação dos operários, somada a má gestão desta mão-de-obra, gera retrabalho e ociosidade, que pode explicar parte das perdas encontradas (ARAUJO, 2000).

Portanto, maiores consumos de mão-de-obra ocorrem em função de decréscimo na eficiência no uso do recurso (piorando a produtividade) ou aumento da quantidade de serviço. Como causas de variação no consumo da mão-de-obra, quanto ao aumento da quantidade de serviço, tem-se (ARAUJO, 2000):

- erros na apropriação;
- projetos mal detalhados;
- projetos errados;
- alterações de projetos, dentre outras.

A aquisição de materiais deve ser técnica e não apenas pelo preço da unidade. O envolvimento do arquiteto e do engenheiro neste ponto é fundamental. Deve-se fazer uma programação correta de quanto se consumirá de cada material, e não descuidar da estocagem e movimentação dos mesmos. Estes últimos dizem respeito ao projeto do canteiro de obras, algo que até hoje é pouco investido e talvez seja um diferencial para as empresas. Ter equipamentos adequados, operários treinados e motivados é

---

[13] Gerald DAVIS & Françoise SZIGETI, apud RHEINGANTZ, 2000

imprescindível. Ou seja, a gestão na obra é essencial, precisa-se do arquiteto e do engenheiro assumindo o seu papel, estar diariamente na obra, se possível tomando decisões no local.

Quanto à questão do entulho, este deve ser reaproveitado na própria obra, através de um gerenciamento de resíduos. Ou se não for possível o aproveitamento total, a parte restante deve ser vendida para sucatas ou repassada a catadores ou olarias. Reduzindo, desta forma, a agressão ao meio ambiente.

Diante destes fatos, faz-se necessário analisar a eficiência econômica da redução destes resíduos, estabelecer metas, elaborar um plano de ação e implementá-lo. Melhorar a eficiência de utilização de matérias-primas e energia por meio de mudanças no processo, bem como, conceber um projeto bem elaborado são medidas de suma importância.

O custo envolvido na construção do edifício certamente é um fator levado em consideração, devido à limitação de orçamento disponível para o empreendimento e a maximização dos lucros por parte de quem constrói, na lógica capitalista. Sendo que dependendo do projeto, a experiência internacional (DOE[14], 2003) comprovou o custo inferior a 10% para construção de um prédio eficiente, se comparado a um edifício tradicional, podendo até mesmo ser mais econômico, em alguns casos específicos. Ganha-se em economia de energia em torno de 50% (DOE, 2003) nas contas, se comparado a um edifício tradicional.

Um dos problemas é que no Brasil, em geral, quem constrói não ocupa o edifício posteriormente, portanto, não tem interesse com relação ao seu funcionamento eficiente. Dentro desta lógica, o objetivo é o menor investimento inicial visando maximizar os lucros no curto prazo, repassando os custos operacionais ao consumidor. Observa-se

[14] DOE – Departamento de Energia Norte Americano

que tradicionalmente a indústria da construção civil assimila lentamente os avanços tecnológicos. O tempo médio de emprego de uma nova tecnologia e de aproximadamente 10 a 20 anos. Devido principalmente ao custo dos empreendimentos, os empresários do setor não querem correr os riscos da adoção de novas tecnologias (KUA e LEE, 2001).

Neste ponto de vista, faz-se necessário a implementação de regulações, por meio de criação de normas para eficiência energética dos edifícios, já existentes em outros países (LOMARDO, 2000), como meio para se chegar aos objetivos. Estimulando a valorização dos prédios mais eficientes e revertendo se assim em melhor remuneração para o construtor (FABERON, 1987) e o usuário (bônus em tarifas de consumo, por exemplo). No Brasil como já foi visto anteriormente, existe um programa de etiquetagem de eficiência energética para edifícios comerciais sendo implantado.

A implementação de um modelo de gestão ambiental e eficiência energética adequado a uma edificação comercial, requer estudos que devem ser iniciados desde a concepção do projeto, na fase de planejamento, passando pela sua construção e avançando continuamente durante toda a sua ocupação.

Com relação às normas de gestão ambiental, a Avaliação de Impacto Ambiental – AIA e o Sistema de Gestão Ambiental – SGA, fornecem fundamentos essenciais para o estabelecimento de um modelo de gestão integrado, aplicável às relações do empreendimento com o meio ao longo da vida útil, embora nem sempre seja obrigatória em uma edificação comercial (depende da legislação local, do tamanho do empreendimento, entre outros fatores).

Uma solução mais adequada parece estar em um Sistema de Gestão Integrada - SGI, que já é uma realidade em alguns países, de acordo com pesquisa realizada pela *Internacional Organization for Standardization* (ISO), em 2003. Verificou um

crescimento de sistemas certificados pelas ISO 14001 (gestão ambiental) e a ISO 9000 (gestão de qualidade). Porém, não é fácil a integração dos sistemas para aplicação em empresas, do setor da construção civil, altamente voláteis e turbulentas, cuja dinâmica das tecnologias de produto e processo são a tônica.

Devido à grande complexidade, decorrente da diversidade e do número de intervenientes que podem ocorrer no processo de construção de uma edificação, com capacidades técnicas e econômicas diferenciadas, interesses nem sempre convergentes e, muitas vezes, relações contratuais informais pouco definidas, surgiu a necessidade de um sistema de gestão exclusivamente voltado para a construção civil. Sistema este denominado de PBQP-H (Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat), inspirado no QUALIBAT (de origem francesa, 1992) e na série ISO 9000.

Porém este programa ainda não incorpora a questão de eficiência energética nas edificações, suas principais linhas de atuação estão estabelecidas nos seis programas desenvolvidos. São eles, Qualificação de Empresas de Serviços e Obras, Qualificação dos Materiais de Construção, Autogestão na Construção, Sistema Nacional de Aprovações Técnicas, Qualidade dos Laboratórios e Formação e Requalificação Profissional. Este programa surgiu objetivando aumentar a competitividade do setor, incluindo a modernização técnica e gerencial das empresas, é um sistema de gestão voltado para a qualidade.

O Brasil, como os países em desenvolvimento, ainda está em fase de crescimento. Isto significa que a demanda por energia continuará crescendo, até que se atinjam os níveis dos países desenvolvidos. Junto com o crescimento está associada à poluição ambiental, que se for mantida a prioridade para o crescimento econômico tende a piorar. O que seria insustentável do ponto de vista ambiental a nível transnacional. Dentre as alternativas para a solução deste conflito entre o crescimento

econômico e a proteção do meio ambiente está a prevenção da poluição e investimentos em eficiência energética.

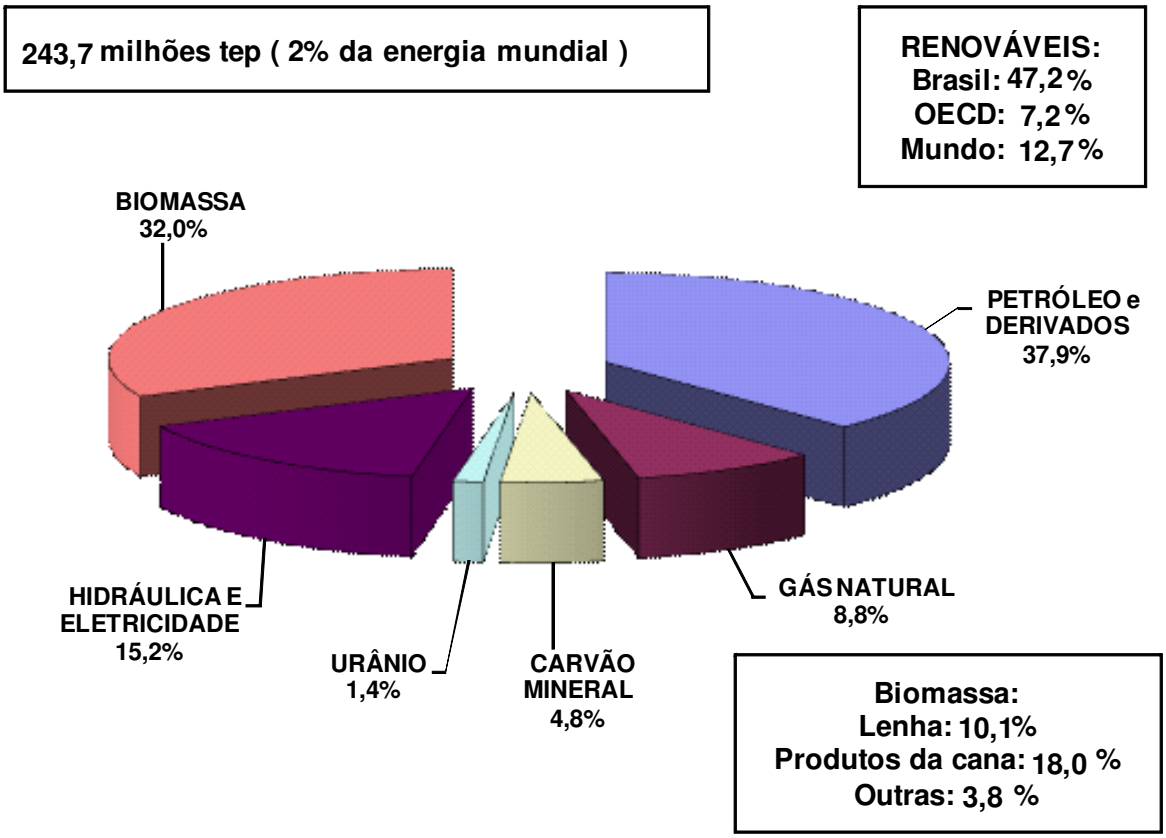

Gráfico 2.1: Oferta Interna de Energia, incluindo todos os energéticos disponíveis no BEN
Fonte: http://www.mme.gov.br/mme/menu/todas_publicacoes.html
Acesso em 3 de agosto de 2010.

É também bastante importante promover o recurso às energias renováveis nos edifícios, criando os meios e instrumentos que facilitam a penetração dessas energias (solar térmico, solar fotovoltaico, etc.) e das novas tecnologias energéticas (micro turbinas para micro-cogeração). O que vem sendo facilitado pela nova regulamentação do setor energético.

No Brasil, o ritmo de construção ainda deve se manter por bastante tempo, na medida em que nos países em desenvolvimento, as taxas de crescimento das cidades são

altas. A arquitetura de prédios se insere tipicamente no fenômeno urbano e sua ocorrência tem se intensificado em período recente.

Em termos de Balanço Energético Nacional disponível mais recente (2009, ano base 2008), o consumo de energia nos setores residencial, comercial e público, onde insere-se a maior parte dos edifícios, representa cerca de 9,3% do consumo final do país, com um consumo final energético total de 243,7 milhões tep (toneladas equivalente de petróleo).[15] As fontes energéticas correspondentes são muito diversificadas, mas nota-se uma preponderância dos consumos de eletricidade que, no setor comercial, público e residencial representam um total de 45%, distribuídos da seguinte forma: 14,6%, 8,1% e 22,3% respectivamente, na composição setorial do consumo de eletricidade.

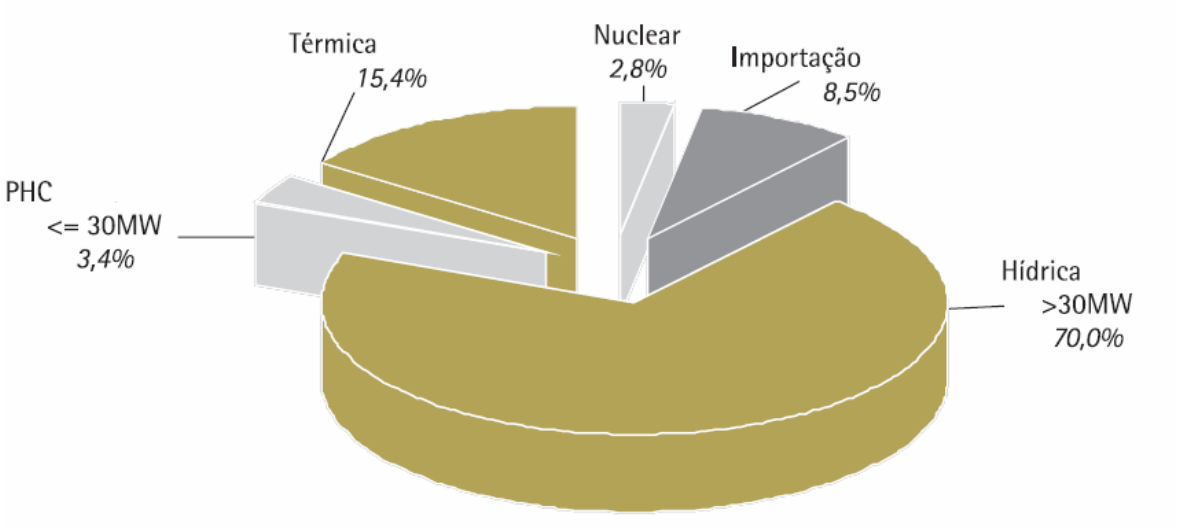

Gráfico 2.2: Energia Elétrica – Estrutura da Oferta Interna Segundo a Natureza da Fonte Primária de Geração, Brasil, 2008
Fonte: http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/BEN/2_-_BEN_-_Ano_Base/1_-_BEN_2009_Portugues_-_Inglxs_-_Completo.pdf
Acesso em 03 agosto 2010.

[15] O Balanço Energético Nacional converte a eletricidade (MWh) em tonelada equivalente de petróleo (tep) através da quantidade que se queimaria em uma termoelétrica para gera-lo (1,o MWh = 0,290 tep). A conversão calórica é feita diretamente da energia elétrica (Wh) para o equivalente calórico do petróleo médio (1,0 MWh = 0,79 tep).

Teve-se acesso à pesquisa de posse de eletrodomésticos e hábitos de uso, no segmento comercial/industrial de baixa tensão, realizada pela ELETROBRAS em parceria com PUC-RIO, ECOLUZ e PROCEL, na área das concessionárias AMPLA (114 questionários) e LIGHT (120 questionários), abrangendo o estado do Rio de janeiro em dezembro de 2005.

> Das empresas pesquisadas na AMPLA, 95,6% são estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços. No geral, 50% dos estabelecimentos são classificados como micro negócios. Em geral 78,9% dos estabelecimentos funcionam de 6 a 7 dias por semana.
> Em 42% dos estabelecimentos pesquisados os custos com energia elétrica representam menos de 25% do custo total da empresa. Questionados sobre os sistemas que contribuem significativamente para o consumo de energia elétrica, 51,8% citaram eletrodomésticos e 47,4% mencionaram os sistemas de refrigeração (são citados ainda, por 43,9% dos entrevistados, os equipamentos de escritório). Vê-se ainda que 51,8% dos estabelecimentos controlam os gastos com energia elétrica observando o total da conta no final do mês e que 42,1% o fazem pelo gerenciamento do tempo de uso dos equipamentos.
> Já a utilização de eletricidade segundo a estação do ano, o levantamento apontou uso intenso no verão (50,5%), uso médio no outono (55,3%) e primavera (50%) e pouco uso no inverno (47,4%). No geral, 70,2% dos estabelecimentos informaram que existe acompanhamento do consumo médio mensal de energia elétrica da empresa e 61,4% disseram que investigam a causa quando é detectada alguma diferença significativa neste consumo mensal.
> Entretanto, 35,1% disseram que não adotam políticas de compra que levem em consideração questões relativas à energia. Em 68,4% das empresas, é também o dono quem define as especificações dos equipamentos a serem comprados. Vê-se que em 45,6% dos estabelecimentos existe um critério financeiro para avaliar a aquisição de novos equipamentos. Como era esperado, o preço mais baixo é o mais citado (44,2%) e é seguido pela taxa interna de retorno (21,2%).
> Questionados se adotam alguma medida para economizar energia elétrica, 84,2% dos estabelecimentos responderam afirmativamente. Ainda sobre a conservação de energia, 70,2% dos entrevistados afirmaram que conhecem o selo Procel e 53,5% sabem o que ele significa. Entretanto, 87,7% das empresas não sabem o quanto economizariam em energia com a compra de produtos eficientes. Vê-se ainda que 55,3% dos estabelecimentos informaram que recebem informações sobre conservação de energia, e o meio mais citado é a conta de luz (84,1%).
> Das empresas pesquisadas na LIGHT, 100% são estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços. No geral, 51,7% dos estabelecimentos são classificados como micro negócios. Em geral, 70,8% dos estabelecimentos funcionam de 6 a 7 dias por semana.
> Em 18,3% dos estabelecimentos pesquisados os custos com energia elétrica representam menos de 25% do custo total da empresa (apenas em 1,7% o custo com energia elétrica está acima de 25% do custo

> total, pois cerca de 80% dos entrevistados não souberam ou não responderam a esta questão). Questionados sobre os sistemas que contribuem significativamente para o consumo de energia elétrica, 57,5% citaram máquinas e motores elétricos e 48,3% citaram equipamentos de escritório. Foram citados ainda sistemas de ar condicionado (45%) e eletrodomésticos (43,3%). Vê-se ainda que 52,5% dos estabelecimentos afirmam controlar os gastos com energia elétrica observando o total da conta no final do mês e que 36,7% afirmaram que não gerenciam estes gastos.
>
> Quanto ao nível de utilização da eletricidade, as respostas indicam nível intenso de utilização de segunda a domingo. A utilização de eletricidade segundo a estação do ano também mostra uso intenso nas 4 estações. No geral, 67,5% dos estabelecimentos informaram que existe acompanhamento do consumo médio mensal de energia elétrica da empresa e 65,8% disseram que investigam a causa quando é detectada alguma diferença significativa neste consumo mensal.
>
> Vê-se ainda que 32,5% disseram que adotam políticas de compra que levem em consideração questões relativas à energia (entretanto, 57,5% não souberam/não responderam a esta questão). Em 58,3% das empresas, é também o dono quem define as especificações dos equipamentos a serem comprados. Vê-se também que em 15,8% dos estabelecimentos existe um critério financeiro para avaliar a aquisição de novos equipamentos (entretanto, 78,3% não souberam/não responderam a esta questão). O preço mais baixo é o critério mais citado (52,6%). Quanto à fonte de informações utilizada quando da troca de equipamentos levando em consideração critérios de eficiência energética, 7,5% citam os fabricantes. Observa um alto grau de entrevistados que não souberam/não responderam a esta questão (75%).
>
> Questionados se adotam alguma medida para economizar energia elétrica, 69,2% dos estabelecimentos responderam afirmativamente. Ainda sobre a conservação de energia, 59,2% dos entrevistados afirmaram que não conhecem o selo Procel e 67,5% não sabem o que ele significa. Vê-se também que 85,8% das empresas não sabem o quanto economizariam em energia com a compra de produtos eficientes. Observa-se ainda que 55% dos estabelecimentos informaram que não recebem informações sobre conservação de energia. Nos que recebem (37,5%), o meio mais citado é a TV (86,7%).

Como pode ser visto as informações sobre eficiência energética ainda são vistas de forma precária, na maioria dos casos sem nenhum método predefinido para aquisição de equipamentos e sistemas mais eficientes, embora seja detectado que estes consomem bastante energia. O consumo de energia elétrica não ultrapassa a 25% dos gastos da empresa, porem representa um valor alto, e como tal, é feito algum tipo de

gerenciamento, o mais citado é a comparação da conta de luz, porem alguns gerenciam a utilização de equipamentos.

No caso das edificações comerciais, públicas e residenciais, a energia elétrica aparece como sendo o energético com participação predominante com relação ao consumo final global, e por este motivo será o energético analisado nesta dissertação. Os edifícios residenciais e comerciais têm características de consumo muito distintas, portanto, neste trabalho será analisado prioritariamente o setor comercial.

O prédio comercial foi escolhido em função de ser um edifício com elevado consumo específico onde a eficiência energética é passível de se investir. A arquitetura está inserida neste contexto uma vez que a edificação comercial tem apresentado de forma geral um baixo desempenho energético, fruto de uma dependência crescente de sistemas eletromecânicos para atendimento de seus requerimentos de conforto no ambiente de trabalho, tais como, iluminação, ventilação, transporte vertical, abastecimento, refrigeração e do envoltório (fachadas), nem sempre apropriado ao clima local.

Nos E.U.A. a participação do consumo de energia primária nos edifícios comerciais é de 18% e representava 36% do consumo de eletricidade nacional em 2006 (*The U.S. Department of Energy's (DOE) Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, 2010).* em Portugal é de 9%, do consumo total de energia (COX e BOEL, 2003). No Brasil, não se tem estes dados ainda disponíveis. No Balanço Energético Nacional pode-se verificar o consumo da energia nacional por setor da economia, mas não permite desagregar e chegar aos valores efetivamente consumidos pelas edificações.

Existe uma grande heterogeneidade neste tipo de edifícios, desde a pequena loja que tem um consumo menor do que uma residência, até os restaurantes, clubes, hospitais, hotéis, shoppings e outras grandes áreas comerciais, cujos consumos são mais

elevados dentre os que se verificam no setor comercial. Engloba grande diversidade de ramos de atividades, obviamente, não apresenta a necessária homogeneidade para fins de comparação e análise entre seus componentes, visando à melhoria de seu desempenho energético. A análise, portanto, deve ser específica em função do tipo de edifício.

Dentro de cada tipologia, os consumos também são muito variáveis, sendo possível identificar uma grande gama de edifícios, desde os mais eficientes aos maiores consumidores de energia, para funções idênticas. Nesta tese a tipologia analisada é a de edifícios de escritórios, visando gerar indicadores que proporcionem efetivas comparações de eficiência entre prédios com essa mesma utilização.

Os edifícios são responsáveis por uma significativa parcela na emissão de CO_2 devido ao consumo de energia elétrica, principalmente os prédios de escritórios. Além disso, os edifícios de serviços ditos particulares e os públicos possuem diversas semelhanças, isto faz com que abrangência deste trabalho seja mais significativa. Estes edifícios têm um potencial maior de redução do consumo de energia e emissão de CO_2 do que outros tipos de tipologias prediais, se aplicadas estratégias de projeto que visem a eficiência energética.

Os edifícios comerciais de escritórios não são tão influenciados pelo microclima como são os residenciais, pois na prática a experiência tem demonstrado que eles funcionam a maior parte do tempo com sistemas artificiais de condicionamento e iluminação em clima tropical. A utilização apenas da ventilação natural não tem sido suficiente para manter a temperatura ideal para conforto higrotérmico. As razões para este fato podem ser devido a altas cargas internas acarretada pelo uso dos equipamentos, utilização fora dos horários em que a luz do sol está disponível, influência do

comportamento dos colegas de trabalho, dificuldades para controlar a velocidade do vento, mudanças no projeto original, entre outras (PEDRINI, 2003).

Logicamente a integração do projeto ao clima deve levar a um edifício com sistema misto, que consumirá menos energia elétrica para iluminação e condicionamento de ar já que a arquitetura otimizará o conforto higrotérmico das pessoas nestes ambientes levando a uma utilização passiva, retardando o início provável da iluminação e climatização artificiais.

3.2 O EDIFÍCIO INTELIGENTE

Com a chegada da Era Pos-Industrial e a tendência crescente de re-humanizar e customizar as relações do mercado e os valores da sociedade, em meio às crises do petróleo e ao desenvolvimento das novas tecnologias de informação, que marcaram o divisor tecnológico dos anos 70, surgiu os chamados sistemas inteligentes que passam a ser incorporados aos edifícios (RHEINGANTZ, 2000).

A partir da inauguração, em 1984, do edifício da AT&T, primeiro edifício de uso não-industrial de alta tecnologia, o marketing imobiliário começa a utilizar a designação inteligente, derivada da palavra inglesa *intelligence* (serviço de informações), atualmente consagrada no mundo inteiro para caracterizar um novo e lucrativo ramo de negócio no mercado imobiliário: o dos edifícios de alta tecnologia (RHEINGANTZ, 2000).

Diversas são as definições de edifício inteligente, algumas delas estão listadas abaixo, seu significado varia conforme os interesses dos agentes envolvidos: dos fabricantes dos sistemas, das construtoras, das consultorias em automação predial ou imobiliárias e os dos projetistas.

"Edifício Inteligente é aquele que incorpora dispositivos de controle automático aos seus sistemas técnicos e administrativos" (Apud FRAZATTO, 2001).

> Edifício Inteligente é aquele que responde às necessidades de seus usuários, quão variadas sejam, e que conserva a capacidade de evoluir, incorporando a qualquer tempo, os recursos tecnológicos que venham a ser convenientes (Apud FRAZATTO, 2001).

"Edifício Inteligente é aquele que conjuga, de forma racional e econômica, os recursos técnicos e tecnológicos disponíveis de forma a proporcionar um meio ideal ao desenvolvimento de uma atividade humana" (Apud FRAZATTO, 2001).

> Edifício Inteligente pode ser sistematicamente definido como edifícios que possam acomodar *hardwares* avançados como sistema de gerência pessoal e da edificação, bem como prever acomodações para futuras tecnologias adequando-se assim as necessidades de utilização de longo período (Apud FRAZATTO, 2001).

As definições mais aceitas entre os construtores e fabricantes de sistemas falam em "edifício que oferece um ambiente produtivo e econômico através da otimização de quatro elementos básicos: estrutura, sistemas, serviços e gerenciamento"[16] ou, ainda de "edifícios que possuem um bom e atualizado projeto e uma construção racional e econômica; ou aqueles que são bem projetados e construídos, levando-se em conta as exigências de uso e evolução tecnológica"[17]

Entre os especialistas na área de automação predial, consultores de sistemas e de profissionais na elaboração de projetos de edifícios, na opinião de uns o problema esta restrito a alta tecnologia, há os que pensam que o edifício inteligente surge a partir da definição de seus propósitos e concepção, e os, que se encontram em uma posição intermediaria entre ambos, acreditam que o edifício inteligente envolve tanto a alta tecnologia quanto seus propósitos e concepção. Em geral, acreditam ser uma forma irreversível de agregar valor às edificações (RHEINGANTZ, 2000).

---

[16] *Intelligence Buildings Institute*
[17] Associação Brasileira de Construção Industrializada

Segundo especialistas internacionais citados por CORRÊA (1995), 40% da inteligência do edifício correspondem à automação predial, os outros 60%, cabem aos projetos de estrutura e arquitetura. O projeto tem que possuir soluções inteligentes. De acordo com Giusepe Levay, para que um projeto seja considerado inteligente, é preciso que o custo final após 50 anos de uso seja o mais baixo, com o maior índice de produtividade possível (CORRÊA, 1995).

Para Maria Akutsu (IPT[18]), a concepção do prédio deve considerar os vários fatores de desempenho, tais como, o conforto térmico, estanqueidade, acústica, durabilidade e facilidade de manutenção. Ressalta que no Brasil, a especialidade tem sido a área de conforto ambiental e economia de energia, sendo importante definir o uso a que se destina o edifício e o clima da região em que o mesmo está implantado (CORRÊA, 1995).

Entre os adeptos de que o edifício de alta tecnologia deve possuir mais que a automação predial, também um projeto de arquitetura bem elaborado, contam os seguintes aspectos: orientação das fachadas com relação ao sol, o material de revestimento, a inércia térmica do referido material, a cor da fachada, o aproveitamento da luz e ventilação naturais. São elementos importantes para o desempenho energético do edifício.

> Um edifício com pele de vidro em São Paulo jamais será eficiente do ponto de vista energético, por melhor que sejam os controles instalados. Um prédio com essa arquitetura irá acumular calor o tempo todo e, portanto, vai se gastar uma fortuna em ar condicionado para retirar esse calor lá de dentro (CASTRO, 1994).

Segundo Marcos Kahn (KB Engenharia), o projeto inteligente deve propiciar uma flexibilidade para alteração nas instalações. Recursos como pisos elevados, pre-cablagem, lâmpadas economizadoras, reatores eletrônicos, controles localizados para as

[18] IPT –Instituto de Pesquisa Tecnológica

luminárias, ou dimerização, são elementos que conferem maior vida útil ao prédio e resultam numa relação custo vida útil mais atraente ao mercado.

> De todo dinheiro que sai de um prédio ao longo de sua vida útil, cerca de 2% são gastos na construção. Outros 6% são consumidos na operação e manutenção, e os restantes 92%, irão pagar os funcionários que operam o prédio. Portanto a automação pode ser entendida como um fator de redução desses custos em longo prazo (SOUZA, 1995).

Conforme visto as definições mais usuais não fazem referencia direta à eficiência energética, bem como, não mencionam a sustentabilidade do meio ambiente construído. Mas mencionam um bom projeto e a construção racional e econômica, de fato, a promoção de tecnologia avançada deve levar em consideração a melhoria do meio ambiente, do desempenho das edificações, além de, promover o conforto interno dos usuários melhorando as condições de trabalho. Itens que serão verificados no quarto capítulo deste trabalho.

Alguns pesquisadores não concordam com a denominação inteligente, pois não verificam na prática ações em sintonia com a definição tradicional de edifício de serviços inteligente, caracterizada por uma "extensa lista de novos produtos de telecomunicações, de eletrônica, de segurança, de automação e sistemas de controle predial que demonstrou ser insuficiente para garantir antecipadamente um ambiente de trabalho *high-tech* a proprietários e usuários de edifícios" (HARTKOPF et al, 1993). Propõem nova definição: "aquele que incorpora as tecnologias mais recentes em um cenário físico, a comunicação e a produtividade global" (HARTKOPF et al, 1993).

REIWOLDT (1997), sugere que "espaços inteligentes não seriam aqueles projetados para acomodação ou exibição otimizada de tecnologias de multimídia, mas sim as que provêem as oportunidades de subsistência das novas tecnologias para a humanização dos ambientes habitados".

Ocorre que, em geral, o interior deste tipo de edifício é concebido como espaço vazio e flexível, por um projeto executado para uma empresa inespecífica, neste ponto

não se sabe quem irá ocupá-lo, portanto é genérico. A crítica de alguns pesquisadores está neste fato, ou seja, a permanência do foco na oferta e em sua capacidade de gerar novas demandas, bem como, na concepção desses novos edifícios com o objetivo de transformar os homens em máquinas cada vez mais eficientes de trabalhar.

Sendo que, atualmente, os consumidores estão cada vez mais exigentes e esta contribuição é fundamental para que os projetistas e demais agentes envolvidos no processo de produção do edifício inteligente estejam atentos para a qualidade do projeto, bem como, para a eficiência energética e o aproveitamento dos recursos naturais.

Visto que em diversos países, conforme pesquisa realizada por JANDA et al (1994), tais como, Portugal, Estados Unidos da América, Jamaica, Israel, Japão, França, Chile, Colômbia, Holanda, Nova Zelândia, Noruega, Polônia, Escócia, Singapura, Correia do Sul, Suíça, Suécia, Dinamarca, Irlanda, Canada, Tchecolovaquia, Inglaterra, entre outros, já existem normas, e/ou etiquetagem e classificação desses prédios. No Brasil este processo está iniciando. O que se constitui em um fator de estímulo para investimentos em eficiência energética, usualmente o custo inicial de construção é superior aos dos prédios tradicionais, compensando de alguma forma o investidor.

Segundo a opinião de alguns projetistas de interior de escritórios e especialistas, citado por CAPOZZI (1996), alguns problemas são identificados, em geral, nos edifícios inteligentes: na relação entre área útil do pavimento-tipo e a área de carpete (área efetivamente ocupada) que, em alguns prédios, chega a ser inferior a 80% quando o mínimo aceitável seria 92%; outros problemas que dificultam a organização do layout interno são: a concepção do núcleo de serviços (elevadores, sanitários, áreas de apoio e técnicas), a obstrução de pilares, a forma irregular da planta do pavimento-tipo e sanitários fora do núcleo de serviços.

E ainda, outros problemas são identificados, citados por RHEINGANTZ (2000): previsão genérica da malha de piso e do sistema de ar condicionado, freqüentemente não coincide com o ponto exigido pelo usuário (Frederico MORAN); número insuficiente de controles individuais do sistema de ar condicionado, em torno de um para cada aleatórios 30m² de área de piso, quando deveria ser por estação de trabalho (Marcos de SOUZA e Márcio KOGAN); falta de inteligência da concepção de uma planta que desconhece as necessidades de um cliente genérico (Marcel MONACELLI); falta de coordenação dimensional entre as malhas de forro e piso e caixilharia (MONACELLI); falta de previsão de *shafts* sob o piso ou sobre o teto, rodapés com canaletas e divisórias com espaço para passagem de cabeamento, que dificulta a versatilidade necessária a este tipo de projeto (Israel REWIN); uso indiscriminado de piso elevado, mais indicado para setores com CPDs (Vasco LOPES); controle centralizado do sistema de iluminação que dificulta eventuais trabalhos noturnos imprevistos (KOGAN); supervalorização dos avanços tecnológicos de supervisão predial em detrimento do aspecto humano (KOGAN); frente à ineficiência dos transportes públicos, o número de vagas de garagem deveria ser de 1 vaga para cada 25m² de piso, mas que em média, em São Paulo, é de 1 vaga para cada 40m² (SOUZA).

CAPOZZI (1996) reconhece a mudança de perfil dos consumidores, que se tornam cada vez mais bem informados e exigentes frente às regras de mercado:

> Acostumados com as regras de marketing nem sempre muito sinceras ou específicas, os consumidores estão implacáveis e literalmente investigam até que ponto chega à propaganda "inteligência" dos prédios onde pretendem instalar suas empresas, escritórios ou consultórios...

O edifício inteligente está inserido no contexto da mudança de uma economia de serviços para uma economia de conhecimentos. John WORTHINGTON (1997), observa em sua proposta que enquanto a economia de serviço preocupava-se com a

organização de dados e produtos, a economia do conhecimento trabalha com informações e idéias, aumentadas por uma ampla rede de comunicações e informação mundial e dentro de uma estrutura organizacional de comunidades de interesse. Segundo WORTHINGTON, a linha de produção global e o trabalho de grupo em funcionamento simultâneo são novas realidades que se refletem diretamente na produção dos edifícios e ambientes de escritórios, que se tornam cada vez mais dispersos, reduzidos e equipados.

Por outro lado, com a chegada das empresas multinacionais atraídas pelas privatizações, cresceu a demanda por espaço nos edifícios inteligentes. Essas empresas "já vem com um padrão de ocupação de escritório da matriz que exige prédios inteligentes, com facilidades de telecomunicação, bom acabamento e grandes espaços." (NEVES in O GLOBO 06|02|2000 apud RHEINGANTZ, 2000). Elas buscam edifícios de melhor padrão e com baixo custo operacional, dado fundamental da nova sociedade competitiva.

As empresas multinacionais determinam rigorosos padrões de qualidade ambiental para suas sedes, e como no Rio de Janeiro ainda existem poucos edifícios que se enquadram nesta classificação em um mercado com a demanda fortemente represada, a saída encontrada muitas vezes e "retrofitar" os edifícios já ocupados. Neste trabalho será analisada a eficiência energética de um estudo de caso, o edifício inteligente, onde posteriormente serão simulados parâmetros diversos, enquadrando-se, sob este aspecto, a demanda do mercado de "retrofitar" edifícios existentes (capítulo 4).

A arquitetura acompanhou a evolução das sociedades, adaptando-se aos hábitos e tecnologias disponíveis. Com a incorporação dos chamados sistemas inteligentes aos edifícios, sua operação torna-se cada vez mais complexa, especialmente à medida que a ênfase passa a ser dada à customização, em lugar de à padronização. A inovação passa a

ser orientada para a tecnologia dos edifícios, cada vez mais complexa, interativa e maleável. Os edifícios devem atender aos padrões de qualidade e ocupação, evoluir em uma interface sensível entre o seu interior e o ambiente externo, a natureza da camada externa do edifício deve desenvolver qualidades técnicas e estéticas maximizando o conforto e a eficiência energética.

Outra crítica encontrada entre os autores diz respeito ao mercado de automação predial no Brasil, ainda insipiente. Como acontece com qualquer processo de inovação tecnológica, a concepção, produção e operação dos sistemas de automação predial (SAP), ainda se recente de profissionais adequadamente formados e de regras e práticas claras nas relações projetista-cliente e fabricante-cliente. Na opinião de Darren Shipard[19], em geral, os sistemas vendidos na maior parte dos edifícios de escritórios, tem muito mais marketing do que eficiência e utilidade. E ainda em sua opinião, "o problema foi ter havido muitas empresas comercializando os ditos sistemas para edifícios inteligentes. O mercado saturou rapidamente e a realidade não estava lá".

Os profissionais que atuam em projetos e manutenção de sistemas, nem sempre tem conhecimentos integrados de mecânica, instalações prediais, elétrica, eletrônica e instrumentação, considerados requisitos básicos para atender as demandas do mercado. Ou são egressos da área comercial das empresas fabricantes com foco nos aspectos comerciais, ou da área de automação industrial com foco nos aspectos técnicos do problema. Existindo poucos profissionais que conseguem aliar os dois aspectos no Brasil.

Atualmente a predominância no mercado e a dos profissionais oriundos da área comercial, que trabalham em parceria com os fabricantes, em geral empresas multinacionais que se valem da inexperiência dos clientes e contratantes de projetos e

sistemas para disseminar sistemas fechados, do ponto de vista da operação. Encarecendo sobre maneira a manutenção do sistema, geralmente feita pelo fabricante, e repassada para o cliente final, que em geral não é quem contrata o projeto e constrói o edifício.

Algumas empresas vêm desenvolvendo projetos de automação predial, utilizando um controlador lógico programável (CLP) para monitorar ambientes de escritório. Este processo permite transplantar para um edifício comercial a lógica e os equipamentos adotados na automação industrial e nas plataformas de petróleo da Petrobrás.

O custo dos sistemas e componentes industriais e incomparavelmente mais baixo do que o dos sistemas e componentes prediais. Outra vantagem dos equipamentos industriais é que eles são tecnologicamente consagrados, abertos e parametrizados para atender às necessidades do cliente, que passa a ser o dono de fato do sistema, dos seus pontos e equipamentos. Para a manutenção deste sistema, o mercado dispõe de diversos operadores treinados na indústria e empresas prestadoras de serviços, que podem ser contratados a custos bem inferiores aos atualmente praticados pelas empresas da automação predial (RHEINGANTZ, 2000).

3.3 MÉTODOS DE SUSTENTABILIDADE DO PROJETO. ASPECTOS RELACIONADOS AO EDIFÍCIO - PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

A sustentabilidade de uma construção ou produto deve considerar o fornecimento de bens e serviços, que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida, visando promover ao mesmo tempo uma redução progressiva dos impactos ambientais e da intensidade de consumo de recursos ao longo do seu ciclo de

[19] Darren Shipard, funcionario da Honeywell, empresa de desenvolvimento de sistemas e infra-estruturas

vida. É uma ferramenta que contribui para o desenvolvimento e respeita à capacidade de suporte da Terra, aumentando as oportunidades ambientais às futuras gerações.

As edificações que consideram os princípios da construção sustentável tendem a ser mais seguras e saudáveis, pois são fundamentadas na (CIMINO, 2002): redução da poluição; economia de energia e água; diminuição da pressão de consumo sobre matérias-primas naturais e; aprimoramento das condições de segurança e saúde dos trabalhadores, usuários finais e comunidade em geral.

O projeto, não deve especificar matérias primas, nem a construção deve gerar resíduos com indícios ou suspeitas de geração de danos ambientais, precisa considerar o ciclo de vida dos materiais e fornecer informações para a sociedade sobre os impactos ambientais associados aos processos e produtos.

Toda a edificação precisa se adaptar ao terreno que sofre intervenção. Esta adaptação costuma gerar desmatamento, alteração do perfil topográfico, modificação da paisagem local e causa alterações ambientais também no seu entorno imediato. Logicamente, quanto maior o seu porte, consequentemente, maior será o impacto causado no local. A obra consome água e energia, requer materiais e componentes construtivos, gera poeira, resíduos e ruídos. Posteriormente, quando em operação passa a gerar novos e constantes resíduos, incluindo aqui a utilização excessiva de aparelhos de condicionamento de ar com seus gastos de energia elétrica.

A construção civil pode exercer um importante papel na preservação do meio ambiente, visto que sua escala de produção utiliza uma grande quantidade de recursos naturais e seus produtos, as edificações, têm elevado impacto no consumo de energia e água. Desta maneira, mudanças no tratamento de questões ambientais representam importantes oportunidades de desenvolvimento para vários setores da cadeia produtiva.

---

tecnológicos, lotado na unidade de gestão de negócios e infra-estruturas. In A realidade dos Edifícios Inteligentes. www.din.uem.br em 28 de junho de 2007.

Entre as principais ações relacionadas a esta estratégia pode-se destacar (LAMBERTS 2010):

- adoção de um novo paradigma de projeto, no qual as soluções são avaliadas considerando o ciclo de vida da edificação (incluindo custos de operação, uso, manutenção e desmontagem das edificações) e não apenas seus custos iniciais;

- utilização de soluções que aumentem a flexibilidade das edificações e facilitem reformas e modernizações, como por exemplo, a reposição de componentes e subsistemas;

- utilização de materiais e componentes que resultem em menor impacto ambiental ao longo do seu ciclo de vida;

- introdução de melhorias nos projetos e na gestão da produção, reduzindo a geração de resíduos nos canteiros de obras e proporcionando uma destinação adequada àqueles que são inevitavelmente gerados;

- reutilização ou reciclagem de resíduos industriais e agrícolas pela construção civil, incluindo os próprios resíduos produzidos na construção e demolição de edificações.

A introdução de mecanismos para a gestão dos requisitos ambientais ao longo do processo de projeto aparece como uma alternativa importante para garantir, desde a concepção do projeto, um empreendimento voltado à economia de energia e água, redução da produção de resíduos nos canteiros de obras, redução de custos ao longo da vida útil do empreendimento e bem estar ao usuário.

Pensar a arquitetura considerando o clima, além de permitir uma real adequação das atividades humanas às necessidades do meio ambiente, é, acima de tudo, utilizar uma ferramenta estratégica para a competitividade. O cuidado ambiental, bem como o desenvolvimento de métodos e técnicas de produção mais limpas, é uma preocupação

que, a cada dia, cresce e se solidifica como o caminho mais seguro para se obter um melhor padrão de desenvolvimento (FLORIM, 2004).

Edifícios ou construções verdes são concebidos dentro do conceito de que as edificações agridam o mínimo possível o meio ambiente. Este conceito envolve desde a escolha dos materiais utilizados durante a construção até os custo's ambientais de manutenção do edifício.

Diversos países no mundo têm ou estão produzindo leis e incentivos para edificações que sejam projetadas de forma ambientalmente responsável e com alto desempenho. Em muitos deles existem sistemas de certificação ambiental para edificações nos quais se reconhece os melhores desempenhos das edificações em relação a usarem mais critérios de sustentabilidade (LAMBERTS, 2010).

Entre os principais sistemas de avaliação ambiental de edificações podem-se destacar:

- LEED - *Leadership in Energy and Environmental Design. USA*
- REEAM e ECOHOMES - BRE *Environmental Assessment Method. Reino Unido.* - *CASBEE - Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency.* Japão.
- HQE – *Haute Qualité Environnementale dês Batiments*. França.
- GREEN STAR– Austrália.

Todos estes sistemas de avaliação são membros do World GBC – *World Green Building Council*, o Conselho de edificações verde mundial. Muitos outros países estão em vias de formar seu próprio conselho e estabelecer um sistema de certificação ambiental.

Em alguns países esta busca também tem partido de incentivos governamentais, como prêmios ou regulamentações. Nos Estados Unidos, por exemplo, estados como

Washington exige que todos os seus edifícios públicos tenham o selo verde do LEED na categoria *Gold* (Ouro).

O selo verde do LEED avalia se estas edificações foram construídas e funcionam de modo ambientalmente correto, foi criado pelo Conselho Norte-Americano de Construção Verde (*United States Green Building Council*).

O Brasil atualmente carece de um sistema de certificação ambiental próprio, razão pela qual são tomados modelos de outros países ao querer-se uma edificação reconhecida como sendo realmente mais sustentável. Desta forma no Brasil já se tem algumas edificações novas que buscam obter a certificação americana LEED, como norteador para o processo de projeto de edifício comercial mais sustentável. Como foi visto no capítulo anterior o que existe no Brasil, foi implementado recentemente, é o sistema de etiquetagem da edificação focado no aspecto da eficiência energética do edifício, considerando o conforto do usuário.

Edifícios possuem em geral uma vida útil bastante longa. Desta forma, as decisões tomadas durante o seu projeto têm grande influência e implicações tanto para o futuro dos seus ocupantes como para a sociedade como um todo. Itens como o desempenho inicial e a habilidade de melhorar o desempenho ao longo do tempo assumem considerável importância.

O Green Guide (Guia Verde) da *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) define como *green building* (edifício verde) aquele cuja concepção é realizada tendo em vista a preservação da natureza e a ordem natural das coisas, sendo o seu projeto concebido sob a ótica de reduzir o impacto negativo humano sobre o meio natural ao seu redor, no que concerne a materiais, recursos e outros processos existentes na natureza (ASHRAE, 2010).

A *U.S. Green Building Council* (USGBC) considera que as construções que reduzem o consumo de recursos tais como energia, materiais, água e terra, sejam denominados *green building* (USGBC, 2010). De acordo com a USGBC, as edificações devem reduzir a carga ecológica como emissão de gases de efeito estufa, substâncias de destruição da camada de ozônio, e rejeitos líquidos e sólidos, melhorando também o conforto interno do ambiente, seja térmico, lumínico ou acústico.

Edifícios representam um significativo investimento financeiro. Neste investimento devem ser observados aspectos ecológicos relacionados com cada material adquirido. O valor dos edifícios é normalmente avaliado de forma limitada e baseado em aspectos tais como: localização, qualidade, função, estética e outros mencionados anteriormente. O conceito de *green building* adiciona ainda uma série de outros aspectos a serem avaliados. Desta forma gerando benefícios diretos e indiretos, tais como operar de forma passiva, serem mais eficientes no uso da energia e da água, necessidade de menores casas de máquinas e de equipamentos de infra-estrutura, consumir menos recursos para a sua construção, e apresentar tendência de ser mais simples na sua operação assegurando uma vida mais longa.

Um edifício com conceito *green building* apresenta como benefícios uma redução de custos operacionais, maior avaliação do imóvel e acréscimos de valores, atendendo principalmente aos interesses emergentes das organizações no que se refere à melhoria e manutenção da qualidade de vida, no resultado do trabalho e nas relações com os consumidores.

Edifícios construídos dentro destes princípios oferecem vantagens para a comunidade, tais como apoiar a economia local através da demanda de materiais de construção produzidos atendendo às especificações e mão de obra do local, bem como proteger os recursos naturais como água e ar.

Para obter a certificação LEED de uma edificação, primeiramente, o projeto deve ser registrado junto ao USGBC que avaliará a edificação de acordo com os pré-requisitos exigidos para a concessão da certificação. Será atribuída uma pontuação para cada um dos requisitos. A certificação só será efetivada após a construção do edifício e a confirmação de que os pré-requisitos foram atendidos. De acordo com o número de pontos obtidos por uma determinada edificação (máximo de 110 pontos), esta poderá ser certificada em uma das seguintes classificações: *platinum* (platina, de 80 a 110 pontos), *gold* (ouro, de 60 a 79 pontos), *silver* (prata, de 50 a 59 pontos) ou *certified* (certificado, de 40 a 49 pontos) USGBC (2010). Nos quais, 100 são pontos base (referentes aos cinco primeiros itens na lista abaixo), 6 pontos para inovações no projeto e 4 para práticas regionais (*Regional Priority*).

Para que empreendimentos sejam certificados com o selo LEED, o desempenho dos mesmos devem ser avaliados em sete áreas:

• *Sustainable Sites* – sustentabilidade da localização;

• *Water Efficiency* – eficiência no uso da água;

• *Energy & Atmosphere* – eficiência energética e os cuidados com as emissões para a atmosfera;

• *Materials & Resources* – otimização dos materiais e recursos naturais a serem utilizados na construção e operação da edificação;

• *Indoor Environmental Quality* – qualidade dos ambientes internos da edificação;

• *Innovation and Design Process* – inovações empregadas no projeto da edificação.

Regional Priority Credits - reconhece a importância das condições locais na determinação do projeto adaptado ao meio ambiente, bem como as práticas construtivas.

O sistema de avaliação LEED engloba: *New Construction* (novas edificações), *Core and Shell* (terreno e áreas comuns da edificação), *Commercial Interiors* (interiores de ambientes comerciais), *Existing Buildings: Operations & Maintenance and Schools* (edificações existentes: operações e manutenção e escolas).

A análise termo-energética das construções que visam obter a certificação LEED é realizada levando em consideração um nível mínimo de energia para o valor de referência do edifício e seus sistemas, sendo este um dos objetivos do LEED. Para tal, é necessário reduzir o consumo de energia para as cargas regulares do projeto existente, denominado edifício real, quando comparado com o projeto adaptado para atender às normas ASHRAE 90.1-2007.

Neste trabalho pretende-se demonstrar através da simulação a importância dessa adaptação no desempenho térmico energético da edificação, focando o aspecto da eficiência energética. Colaborando para difundir informações necessárias a projetos de edificações adequadas ao clima e, desta forma, reduzir o consumo de energia elétrica. O projeto deve propor uma síntese criativa entre antigas técnicas de construção e a moderna tecnologia, utilizando a eficiência energética aliada à rentabilidade econômica, e desta forma contribuir socialmente.

Embora a abordagem deste trabalho seja setorial, o problema é complexo e demanda uma forma de atuação integrada. Pois, existem vários aspectos que apontam para uma diversidade de situações geradoras de impactos ambientais relacionados à edificação, tanto na construção, quanto em sua operação.

3.3.1 **Projeto, Material e Sistema Construtivo**

Todo o empreendimento visando à construção de uma edificação requer estudos que devem ser iniciados desde a concepção do projeto, na fase do planejamento denominado na arquitetura de programa, passando pela sua construção e avançando

continuamente durante toda sua ocupação. Os processos devem ser conduzidos conforme planejamento prévio. Os projetos arquitetônicos devem ser feitos de maneira a minimizar custos decorrentes de situações improvisadas. O projeto deve evitar o desperdício de energia elétrica, de materiais, de mão de obra e considerar o meio no qual está sendo inserido.

O uso da energia deve ser considerado desde a fase inicial do projeto aonde determinadas soluções tem um impacto bem mais significativo no consumo energético do que outros. Erros cometidos nesta fase acarretam prejuízos ambientais, econômicos e sociais futuros. Decisões de última hora e mudanças repentinas podem provocar um re-trabalho, causando um aumento de custo, uma ineficiência e até mesmo, em casos extremos, torná-lo inteiramente inapróprio.

A fase de programa no projeto de arquitetura precisa considerar o uso eficiente da energia, a equipe deve ser capaz de tomar decisões integradas, de forma a minimizar custos, tanto de construção como de operação, atingindo um nível satisfatório de conforto e eficiência energética no ambiente. Este posicionamento inicial direcionará positivamente os outros consultores que fazem os projetos complementares, como de instalações elétricas, elevadores, e ar condicionado, de forma a atingir um melhor desempenho energético da edificação.

A localização da edificação é um fator determinante, a posição geográfica, sua latitude está relacionada com as temperaturas, é a maior influência do clima no prédio. Os outros fatores também precisam ser considerados tais como: altitude (comparada com o nível do mar), diretamente associado com a variação de temperatura e com a umidade; o perfil topográfico relacionado as variações do microclima especialmente relacionado ao sol e ventos dominantes; e a vegetação que promove estabilidade térmica e um aumento da umidade (H. COCH, 1998).

Um melhor aproveitamento do clima pode ser conseguido através do planejamento apropriado de detalhes da edificação. A escolha do tipo da edificação e layout adequados é de fundamental importância, bem como, a orientação correta. Cobertura, fachadas e o pavimento-tipo devem ser trabalhados. O sol é importante fonte de calor, e aquece diferentemente cada lado do prédio.

O estudo da orientação da edificação para que a mesma possa utilizar a energia solar para melhorar sua eficiência, vem de longa data tendo registros de sua primeira utilização na Grécia em 2500 anos atrás (TZIKOPOULOS et al, 2005). Em função da orientação podem ser tomadas decisões quanto à localização de aberturas, por exemplo, estas possibilitam melhorar a ventilação cruzada de um ambiente e o ganho de calor solar no inverno. O uso da ventilação natural nos ambientes, além de proporcionar uma economia de energia, melhora a qualidade do ar interior.

A influência do envelope construtivo no desempenho energético de edificações comercias é significativa, resultado de um balanço entre a iluminação natural e a transferência de calor. No capítulo *Architectural Issues of Energy Smart Building Design (Sustainable Energy Authority*, 2001), o potencial do envoltório é reconhecido: um envelope construtivo bem projetado pode reduzir o custo com energia em mais de 50%. KEARNEY (2002), afirma que as edificações podem obter uma redução no consumo de energia de pelo menos 20% fazendo pequenas mudanças. E RIVARD et al (1995) reconhece: mais de 50% das deficiências encontradas nas edificações são devidas ao envelope (apud PEDRINI, 2003).

A envoltória da edificação cabe as funções de servir como elemento regulador das condições ambientais, como admissão de luz e sol, ganho e perda de calor, renovação de ar, etc. Portanto ela tem uma função térmica que não pode ser relegada para segundo plano, pois está diretamente relacionada à adequação do projeto às

necessidades de conforto dos usuários. O envelope construtivo compõe-se basicamente de fechamentos opacos e transparentes.

Nos fechamentos opacos a preocupação reside basicamente em minimizar a transmitância térmica e em especificar cores adequadas ao clima local (clara para o calor). Já os fechamentos transparentes, tornam-se mais complexos, devido a sua influência nos ganhos e perdas de calor, também na iluminação natural e na ventilação dos ambientes internos. Nestes casos nem sempre é possível manter o interior em condições desejáveis de conforto térmico ou lumínico, sem recorrer a sistemas artificiais de iluminação e condicionamento térmico (LAMBERTS et al, 1997).

O envoltório do edifício deve ser tal que minimize as perdas térmicas no inverno, bem como os excessivos ganhos solares no verão. Com materiais que atendam a requisitos mínimos quanto aos valores dos coeficientes de transmissão térmica, utilizar sempre que possível a cor clara nos telhados e paredes externas (visando diminuir ganhos de calor por insolação), e ainda, considerar a área e as proteções dos vãos envidraçados ou fatores solares (proporção de energia que entra através de uma janela e a energia total incidente).

Os dispositivos de sombreamento devem ser usados de maneira a evitar a penetração da radiação solar durante o verão e permitir a entrada da radiação, aquecendo passivamente os cômodos no inverno, além de considerar a iluminação natural. Sempre que possível, deve-se ventilar os espaços vazios em baixo dos telhados (áticos), fazer uma aplicação de isolamento nos telhados (forros falsos ou lajes), e deve-se avaliar o isolamento das paredes. Estas medidas reduzem o consumo de energia.

Deve-se estabelecer uma proporção de janelas na fachada que não acarrete em ganho excessivo de carga térmica interna e que permita a utilização de iluminação natural, de forma a chegar a um ponto de equilíbrio ótimo entre o consumo de energia

para climatização e para iluminação. Deve-se analisar as possibilidades de: instalar vidros reflexivos ou películas plásticas nas janelas dos vidros, diminuindo se assim os ganhos de calor por radiação solar e instalar vidros duplos em lugar dos vidros simples.

O aumento do calor interno no ambiente proveniente do uso de vidro pode ser diminuído usando as aberturas com baixo fator solar ou, de baixo coeficiente de sombreamento. No entanto, considerando que painéis envidraçados respondem de forma diferente em cada região do espectro ao receber a radiação solar, a eficiência luminosa e térmica dos vidros deve ser levada em conta. O vidro escolhido deve ter transmissão luminosa elevada, baixa transmissão de calor infravermelho e extremamente baixa transmissão ultravioleta.

Deve-se ainda, instalar persianas interiores com cores claras nas janelas dos ambientes climatizados, controlar a infiltração de ar pelas frestas resultantes das esquadrias, portas e janelas, e se possível, instalar juntas de vedação. Verificar e corrigir se necessário, eventuais imperfeições nas vedações dos vidros (massa de vedação - sustentação). O uso de brises reduz consideravelmente a radiação solar direta sobre os recintos condicionados, diminuindo consequentemente o impacto sobre os sistemas de ar condicionado. As venezianas externas de cores claras são recomendadas como elemento de proteção externa na arquitetura do prédio, seu uso pode provocar uma redução superior a seis vezes na carga térmica do recinto se comparado a um projeto sem veneziana (BARROSO-KRAUSE et al, 2003).

O isolamento térmico em coberturas deve ser considerado, já que a carga térmica no telhado é grande. Deve-se utilizar materiais com alta resistência térmica, se a cobertura for horizontal, adicionar placas de isopor incombustível e vermiculita à argamassa da laje são medidas que dão bons resultados. Sempre que possível deve haver um entreforro, com algumas opções que podem ser adotadas, tais como, aplicação de

mantas de fibra de vidro ou jato de espumas a base de uretano ou da própria fibra de vidro, sobre a laje.

De fato, cores, materiais e espessuras colaboram no consumo de energia elétrica de uma edificação. A constituição de seu envoltório exerce fundamental importância. Telhados, janelas, paredes e pisos, funcionam como uma membrana que envolve o edifício pela qual o calor deverá passar, devendo ser analisados com critério visando à eficiência energética. O projeto que utiliza os princípios da arquitetura bioclimática deve considerar os seguintes aspectos, reconhecidos através de uma revisão de literatura (M. KARAVASILI, 2000):

- topografia, incluindo o entorno;
- movimento solar e seu impacto no edifício durante o ano (altitude solar e azimute);
- condições climáticas incluindo ventos dominantes, movimento do ar, ganho solar proveniente da radiação, temperatura e umidade;
- condições do meio ambiente local como abobada celeste e sombra. A iluminação natural pode reduzir o consumo de iluminação artificial de 40 a 80 % dependendo das condições locais;
- localização, orientação (ao sol e aos ventos), forma e altura do edifício;
- padrões da arquitetura local, características do entorno natural e construído;
- possibilidade de utilização de materiais de construção locais.

E ainda, as taxas de perdas ou ganhos de calor do edifício depende de um conjunto de fatores, além dos citados acima, tais como (MASCARÓ, 1991):

- diferença entre a temperatura interior e exterior. O ganho ou perda de calor radiante está associado às características do material e da cor das superfícies que constituem o envolvente do edifício;

- ação da radiação solar e térmica e, consequentemente, das características isolantes térmicas do envolvente do edifício;

- desenho e proteção das aberturas para iluminação e ventilação, assim como sua adequada proteção;

- localização estratégica dos equipamentos de climatização artificial, tanto dentro quanto fora do edifício, assim como dos principais aparelhos elétricos.

Contudo existe uma variedade de tecnologias associadas aos princípios do bioclimatismo indicando que não existem regras generalizadas na arquitetura bioclimática. O sistema a ser implantado na edificação depende da localização, do clima, do contexto urbano, dos objetivos do projeto, que possuem características únicas. Podem existir sim, algumas tipologias associadas ao clima, mas não existe uma geometria universal a ser aplicada.

Em clima tropical úmido, caso do Rio de Janeiro, deve-se evitar a exposição solar direta no envoltório do prédio, pois não é interessante para o conforto higrotérmico interno. De forma a diminuir a carga térmica, especialmente no verão, recebida do exterior e minimizar a necessidade do uso do ar condicionado. A maioria das grandes cidades brasileiras, em geral, se localizam no litoral, recebendo as influências da massa d'àgua do oceano em seu clima, com efeitos diretos na conservação de energia e também nos níveis de conforto dos usuários. A forma da edificação e os materiais escolhidos devem evitar os efeitos patológicos desenvolvidos nas construções devido à condensação e umidade do ar.

A arquitetura brasileira se utiliza de mesclas para moldar seus componentes. As paredes são, muitas vezes, compostas de blocos de alvenaria e as coberturas de telhas

cerâmicas, requerendo mais mão de obra especializada em sua execução do que a arquitetura realizada com componentes pré-fabricados (LOMARDO, 2000).

3.3.2 **Gerenciamento dos sistemas de iluminação, condicionamento de ar, bombeamento de água e de transporte vertical**

O uso de controles e dispositivos de iluminação que integrem os sistemas naturais e artificiais devem ser estimulados. A iluminação deve ser projetada por posto de trabalho. Pode-se aumentar o conforto visual e reduzir significativamente o consumo de energia elétrica com a técnica da iluminação orientada à tarefa, que permite reduzir a iluminação de fundo para patamares suficientes apenas para a circulação. A iluminância mínima dos ambientes, segundo o uso, é definida pela norma brasileira. Em geral, os níveis previstos nas normas têm variado bastante nos diferentes locais e no tempo.

Nem sempre a utilização da luz natural contribui para a redução do consumo de energia, deve-se conhecer como os dispositivos arquitetônicos, tais como, janelas, clarabóias, domos, etc., admitem luz. A integração adequada entre os sistemas natural e artificial de iluminação é que definirá se o sistema é eficiente ou não. De qualquer forma, o arquiteto deve conhecer os componentes de um sistema de iluminação eficiente, tais como: lâmpadas eficientes, reatores eletrônicos, luminárias reflexivas, além do uso de sistemas de controle de ocupação, fotoelétrico ou temporizadores, por exemplo.

O mesmo pode ser dito, para os sistemas de condicionamento térmico que também incluem decisões a serem tomadas pelo arquiteto, e este deve ter conhecimento dos seus componentes. Ao utilizar sistemas de condicionamento de ar, o profissional deve se preocupar em reduzir o máximo possível a carga térmica, através do

sombreamento, do projeto adequado ao envelope construtivo e de uso de cores claras no exterior.

Condicionadores de ar do tipo de janela ou unidades condensadoras de condicionadores do tipo *Split* devem estar sombreados permanentemente e com ventilação adequada para não interferir em sua eficiência. Devem ser utilizados sistemas perimetrais, projetados para atuar apenas sobre a carga proveniente do envelope da edificação.

O ar condicionado deve ter controle da temperatura e umidade por ambiente. A distribuição do ar deve ser feita por dutos separados para zonas que atendam às condições de conforto, das com requerimentos especiais de temperatura e umidade. Os economizadores devem tirar proveito das condições climáticas exteriores. Os ventiladores devem ser acionados sempre que as condições do ar exterior forem favoráveis.

Em edificações com sistema de condicionamento de ar central o sistema deve ser automatizado e equipado com pelo menos um dos tipos de controle seguintes; controles que podem acionar e desativar o sistema sob diferentes condições de rotina de operação, para sete tipos de dias diferentes por semana; capazes de reter a programação e ajustes durante a falta de energia por pelo menos 10 horas, incluindo um controle manual que permita a operação temporária do sistema por até duas horas; um sensor de ocupação que seja capaz de desligar o sistema quando nenhum ocupante é detectado por um período de até 30 minutos; um temporizador de acionamento manual capaz de ser ajustado para operar o sistema por até duas horas; integração com o sistema de segurança e alarmes da edificação que desligue o sistema de condicionamento de ar quando o sistema de segurança é ativado (RTQ-C, 2009).

Nas edificações que utilizam sistema de condicionamento de ar central, as zonas térmicas com necessidade de condicionamento de ar contínuo, durante 24 horas por dia e por pelo menos 5 dias da semana, devem ter condições de ser atendidas por um sistema de condicionamento de ar exclusivo. Sistemas com taxa de insuflamento de ar externo nominal superior a 1.400 l/s, servindo áreas com densidade de ocupação superior a 100 pessoas por 100 m², devem incluir meios de reduzir automaticamente a tomada de ar externo abaixo dos níveis de projeto quando os espaços estão parcialmente ocupados (RTQ-C, 2009).

Para que se possa medir a potência elétrica na fase posterior à construção e ocupação do prédio, a divisão dos circuitos deve ser feita segundo os usos finais, permitindo uma melhor medição e facilitando a automação.

Quanto ao sistema de bombeamento de um prédio sua principal função é promover o deslocamento de um líquido por escoamento, recebendo trabalho mecânico do motor elétrico e transferindo esta energia mecânica ao fluido sob forma de energia de pressão e cinética. A especificação da bomba centrífuga deve ser compatível com as reais necessidades de vazão e da altura manométrica do sistema. O circuito das tubulações não pode conter muitas curvas e seu diâmetro deve ser adequado, evitando-se diâmetro reduzido.

O critério para escolha das peças sanitárias deve incluir o sentido de diminuir ao máximo o consumo de água na edificação, através da racionalização de seu uso, por exemplo, torneiras acionadas com sensor de presença, vasos sanitários com caixa acoplada, enfim metais e louças de banheiros que utilizem menor quantidade de água. Os empreendimentos devem fazer captação e uso da água de chuva e reuso de águas cinzas, buscando o menor uso possível de água potável dentro do projeto. Deve-se promover a infiltração de água de chuva tratando-a no local e promover o uso correto da

rede de drenagem pluvial. Nessa mesma linha deve-se evitar a impermeabilização total do terreno para promover a recarga do aqüífero; evitar a contaminação do lençol freático e implantar um sistema de tratamento de esgoto ecológico.

Utilização de caixas d'água intermediárias, em edifícios altos, para atender aos andares inferiores que podem ser alimentados por uma pequena bomba auxiliar reduziria o volume bombeado para o reservatório no topo da edificação.

Os motores elétricos escolhidos devem ter uma eficiência mínima aceitável, pois eles podem ser os grandes responsáveis pelo consumo de energia elétrica numa edificação, devem-se considerar os custos associados além do custo de aquisição. O custo operacional leva em consideração o valor pago pelo proprietário durante todo o seu tempo de funcionamento, engloba principalmente o custo da energia elétrica consumida durante sua vida útil. Na maioria dos casos o custo operacional do motor pode chegar a 100 vezes o seu custo de aquisição. Fato que deve ser considerado na aquisição do motor.

A potência nominal do motor não deve ser muito superior à potência solicitada pela carga a ser acionada, evitando-se o superdimensionamento. Pois nestas condições o motor não apresenta problemas para acionar a carga, contudo o consumo de energia é maior do que se ele fosse adequadamente dimensionado para a carga acionada. Motores operando a 50% de carga ou menos apresentam um péssimo valor de rendimento. Em geral, para cargas entre 75 e 100% da potência nominal, o motor pode ser considerado bem dimensionado.

O motor de alto rendimento deve ser utilizado, pois possui rendimento superior ao motor padrão e, consequentemente, apresenta perdas reduzidas. Porém o preço inicial deste tipo de motor é superior ao da linha padrão, sendo que o investimento é

compensado no longo prazo. Já que o motor de alto rendimento consome menos energia para executar o mesmo trabalho realizado por outro da linha padrão.

Quanto ao transporte vertical, num edifício típico, os gastos com a energia elétrica consumida pelos elevadores podem chegar a 6% do custo do prédio (BARROSO-KRAUSE et al, 2003). O consumo se deve principalmente à energia utilizada na máquina de tração, com uma menor participação da luz da cabina, do ventilador, do operador da porta e do quadro de comandos. Indicando que o elevador deve utilizar sistemas de comando e controlo com algoritmos flexíveis, visando a otimização da eficiência do sistema.

O critério de seleção dos sistemas auxiliares entendidos como transporte e refrigeração também devem buscar os sistemas de conversão e os motores mais eficientes. Deve-se considerar a possibilidade de utilização de aquecimento solar central para atender ao sistema de água quente.

Além dos materiais construtivos, os diversos fatores relacionados ao projeto, e os equipamentos que a edificação possui é preciso levar em consideração o fator humano, pois também tem influência no consumo energético. BAIRD (1984) argumenta que o fator humano tem um efeito menor em prédios comerciais automatizados, especialmente se o envelope construtivo for estanque, como no estudo de caso deste trabalho. Por outro lado, nos edifícios que possuem sistemas de condicionamento individual, janelas que se abrem e iluminação pontual o fator humano pode se tornar muito influente no consumo de energia (in PEDRINI, 2003), principalmente devido à troca de ar pelas aberturas.

O consumo de energia final de uma edificação está relacionado a todos estes fatores mencionados anteriormente, tais como: o fluxo de energia entre o meio ambiente, o prédio e os seus serviços, como o ganho solar, as condições térmicas e a

infiltração de ar; controles diretos como os termostatos, válvulas e sensores que indicam quanto de energia é necessário para promover o conforto ambiental para satisfazer as necessidades dos seus usuários; bem como os controles indiretos como as aberturas de janelas e cortinas que controlam uma parte do ganho de energia no edifício.

3.4 VARIÁVEIS DE MAIOR IMPORTÂNCIA NA DETERMINAÇÃO DO CONSUMO DE ELETRICIDADE

Algumas variáveis apresentam maior importância que outras quando se analisam determinadas tipologias prediais, visando o consumo de energia elétrica. Podem ser considerados como aspectos de maior importância na determinação do consumo de eletricidade nos edifícios comerciais, os seguintes: envoltório predial, sistemas de iluminação, os sistemas elétricos prediais, sistemas de condicionamento de ar, equipamentos de condicionamento de ar, sistemas auxiliares (transporte, bobas d'água e refrigeração) e administração de energia (automação predial).

Sendo que, com maior destaque no segmento de edifício comercial brasileiro de uso mais intensivo de energia, estão à iluminação, o condicionamento térmico ambiental e a envoltória. Parâmetros intimamente ligados ao projeto arquitetônico, ressaltando a importância do mesmo no conforto do usuário e no desempenho termo-energético das edificações. Pesquisa feita por GELLER (1994), demonstrou como a energia é consumida em prédios públicos e comerciais no Brasil.

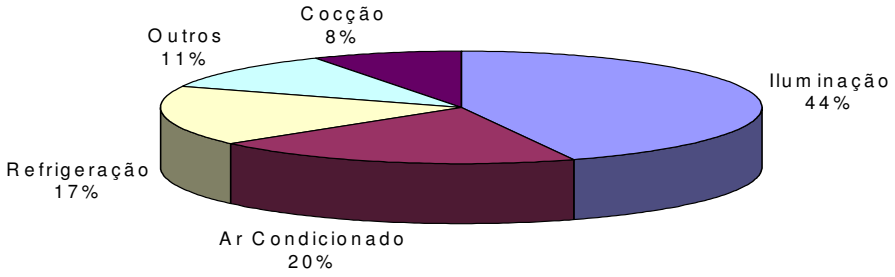

Gráfico 2.3: Consumo de eletricidade em edificações por usos finais nos setores público e comercial.

Fonte: GELLER, 1994

Segundo pesquisa feita por AKBARI (1996), considerando a energia desagregada para cada uso final dentro das edificações nos EUA, apresenta os consumos estimados para onze tipologias prediais, inclusive grandes prédios de escritório situados em cinco cidades com climas costeiros dos EUA. Pode-se observar no gráfico 2.4 as participações estimadas por uso final da energia nestes edifícios de escritório.

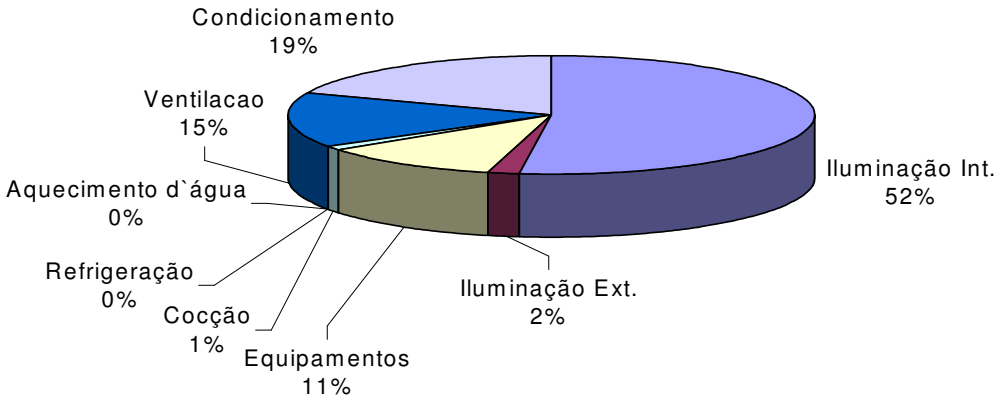

Gráfico 2.4: Participação por Uso Final do Consumo Anual de Energia em Grandes escritórios Americanos
Fonte: AKBARI et al., 1996

Trabalhos como os desenvolvidos por GELLER (1994) e AKBARI (1996), permitem uma melhor compreensão da demanda e a abrangência das medidas de conservação. Embora GELLER tenha apresentado junto diversas tipologias, o que explica em parte as diferenças entre os gráficos, por exemplo, com relação à refrigeração. Já a pesquisa de AKBARI é direcionada para tipologia predial de grandes escritórios, embora tenha sido feita nos EUA, as cidades onde o trabalho foi desenvolvido apresentam clima pouco agressivo.

Diversas pesquisas foram feitas sobre iluminação, inclusive em escritórios, não cabendo neste trabalho, uma revisão extensa da bibliografia, apenas faz-se menção a alguns parâmetros mais significativos, relembrando alguns fatores de maior importância. A iluminação deve ser projetada em função do tipo de ambiente e atendendo aos padrões de conforto. A NBR-5413 da ABNT estabelece níveis mínimos e máximos de aclaramento ou iluminância média, que são medidos em lux e depende das

tarefas que os ocupantes executam no ambiente, cujos valores recomendados pela referida norma estão representados na tabela a seguir:

Tabela 2.1: Níveis de iluminância médios recomendados pela norma NBR 5413
Fonte: NOGUEIRA et al, 2004

ATIVIDADE	**ILUMINÂNCIA (Lux)**	
	mínimo	**máximo**
Mínimo para ambientes de trabalho	150	-
Tarefas visuais simples e variadas	250	500
Observações continuas de detalhes médios e finos (trabalho normal)	500	1000
Tarefas visuais continuas e precisas (trabalho fino, por exemplo, desenho)	1000	2000
Trabalho muito fino (iluminação local, por exemplo, conserto de relógio)	2000	-

A iluminação é um fator preponderante para a boa produtividade no ambiente de trabalho. Em um local bem iluminado há menos fadiga, menor incidência de erros, redução de problemas com a visão, conforto visual, melhor desempenho visual das atividades e realce das texturas e cores através da reprodução com fidelidade.

Um projeto otimizado de iluminação deve prever níveis de aclaramento não uniformes em todo o ambiente, considerando espaços de circulação, proximidade da iluminação natural, e espaços de trabalho, guardando uma proporção de no máximo 1:3, para evitar o fenômeno de ofuscamento, causado por um contraste muito forte de luz em um mesmo ambiente. Uma combinação de lâmpadas, reatores e refletores eficientes, associados a hábitos saudáveis na sua utilização, podem ser aplicados para reduzir o consumo de energia elétrica.

Para obter-se um determinado nível de iluminação, existem várias opções de lâmpadas sendo que com diferentes eficiências e para diferentes situações, na tabela 2.2 pode-se observar as principais características das lâmpadas. As lâmpadas fluorescentes compactas iluminam mais que as incandescentes gastando menos energia, sendo que são

indicadas para locais cujo uso ocorre de forma constante por períodos longos sem interrupção, diferente das incandescentes que suportam o liga/desliga constante. O critério do custo inicial não deve ser parâmetro para decisão, uma vez que lâmpadas eficientes são também mais econômicas se considerado seu custo operacional.

Não se pode esquecer os reatores que determinadas lâmpadas exigem, pois estes também consomem energia. Os sistemas de iluminação controlados eletronicamente proporcionam um menor consumo de energia elétrica devido a uma maior eficiência Lumens por Watt, porém para o sistema elétrico, estes equipamentos geram problemas de qualidade elétrica, resultando em sobretensão.

As luminárias têm uma grande contribuição no consumo de energia elétrica, e não podem passar despercebidas. Mas do que a função estética elas devem atender aos requisitos de sustentar a lâmpada, garantir a alimentação elétrica, direcionar o fluxo luminoso para o local de interesse e demandar pouca manutenção. Devem assegurar conforto visual, evitar ofuscamento, com o máximo de eficiência. NOGUEIRA et al (2004), classificam as luminárias em cinco grandes grupos, conforme a Tabela 2.3.

Tabela 2.2: Principais características das lâmpadas
Fonte: NOGUEIRA et al, 2004.

Tipo	**Características gerais**
Incandescente Comum	- Excelente reprodução de cores - Baixa eficiência luminosa - Vida média: 1.000 horas - Não exige equipamentos auxiliares
Incandesceste halógena	- Excelente reprodução de cores - Eficiência luminosa maior que a incandescente comum - Vida média: 2.000 horas - Exige equipamentos auxiliares, dependendo da tensão
Fluorescente	- Excelente a moderada reprodução de cores, dependendo do tipo - Boa eficiência luminosa - Vida média: 7.500 a 20.000 horas - Exige equipamentos auxiliares: reatores e *starter* (partida convencional)
Fluorescente Compacta	- Boa reprodução de cores - Boa eficiência luminosa - Vida média: 3.000 a 12.000 horas - Exige equipamentos auxiliares (reator)
Mista	- Moderada reprodução de cores - Eficiência luminosa moderada - Vida média: 8.000 horas - Não exige o uso de equipamentos auxiliares
Vapor de mercúrio	- Moderada reprodução de cores - Boa eficiência luminosa - Vida média: 12.000 a 24.000 horas - Exige o uso de equipamentos auxiliares (reator)
Vapor de sódio alta pressão	- Pobre reprodução de cores - Alta eficiência luminosa - Vida média: 10.000 a 55.000 horas - Exige o uso de equipamentos auxiliares (reator e ignitor)

Tabela 2.3: Classificação das luminárias
Fonte: NOGUEIRA et al, 2004.

Tipo	**Características Gerais**
Embutidas	- Normalmente usadas com lâmpadas incandescentes comuns - Apresentam baixo rendimento - Normalmente apresentam problemas de superaquecimento - Difícil manutenção
Fechadas (lâmpadas fluorescentes)	- São encontradas com vários tipos de elementos de controle de luz (refletores espelhados com proteção visual, difusor prismático, etc.) - Rendimento moderado, dependendo do tipo de elemento de controle da luz. As que dispõem de refletores sem elementos de controle de luz apresentam melhor rendimento - Difícil manutenção - Podem ser fixadas sobre a superfície do teto e, em alguns casos, podem ser embutidas
Abertas	- Podem ser encontradas com ou sem elementos de controle de luz - Apresentam rendimentos superiores aos das luminárias fechadas - Fácil manutenção - Podem ser fixadas sobre as superfície do teto ou suspensas
Spots	- São utilizadas com vários tipos de lâmpadas incandescentes refletoras ou coloridas - Utilizados para iluminação direcional do fluxo luminoso - Fácil manutenção - Podem ser fixados sobre as superfícies ou embutidos
Projetores	- Encontrados em vários tamanhos - Apresentam bom rendimento luminoso - São fixados sobre as superfícies ou suspensos - Podem ser usados com lâmpadas incandescentes comuns até lâmpadas a vapor de sódio - Fácil manutenção, dependendo das condições do local.

Com a melhoria das condições do ambiente pode-se reduzir o gasto de energia com iluminação sem prejuízo do conforto visual, alguns itens são especialmente importantes, tais como (NOGUEIRA et al, 2004):

- manter sempre limpos os sistemas de iluminação (evita reduzir a intensidade do fluxo luminoso), as paredes, tetos e pisos;
- utilizar cores claras pois refletem melhor a luz;

- quando for necessário a instalação de divisórias estas devem ser baixas, para reduzir a absorção de luz e permitir o uso da luz nas áreas adjacentes;
- utilizar mobiliários com cores claras, que não tenham superfícies brilhantes ou que não proporcionem reflexões indesejáveis;
- em ambientes com pé direito muito alto, rebaixar as luminárias sempre que possível, tomando cuidado com o ofuscamento.

Não se pode esquecer que as lâmpadas e reatores produzem calor, mais um motivo para evitar-se um dimensionamento excessivo dos sistemas de iluminação. Este calor gera um inconveniente, o desconforto térmico para os ocupantes. E faz com que o sistema de ar condicionado trabalhe mais para remover o calor do ambiente, consumindo maior quantidade de energia elétrica.

Os principais problemas encontrados nos sistemas de iluminação de edificações são: iluminação fora dos níveis normalizados; falta de aproveitamento da iluminação natural; uso de equipamentos com baixa eficiência luminosa; falta de comandos (interruptores) das luminárias; ausência de manutenção depreciando o sistema e hábitos de uso inadequados (BARROSO-KRAUSE et al, 2003).

A utilização da luz natural nas edificações comerciais diante da realidade brasileira em função de suas características climáticas, de abóbada celeste clara e reduzida nebulosidade, faz-se necessária quando se pensa em obter um sistema de iluminação energeticamente eficiente. Compondo um sistema misto de iluminação, evidenciando um grande potencial de racionalização energética.

Existem alguns problemas para fazer o aproveitamento correto da luz natural. Não se deve considerar a luz solar direta como fonte primária de iluminação, devido à sua enorme carga térmica, por ser uma fonte pontual de grande intensidade luminosa e

também devido à sua movimentação. Deve-se considerar a luz da abóbada celeste (fonte secundária) (BARROSO-KRAUSE et al, 2003).

Outro ponto a ser considerado é a variação da iluminância da abóbada celeste durante o dia, o sistema de iluminação projetado deve prever mecanismos de ajustes para solucionar o problema da variação da intensidade de luz e atender aos níveis de conforto dos usuários nas realizações das tarefas. Deve-se evitar a carga térmica que entra nas edificações para efeito de iluminação natural, prevendo uma proteção adequada contra a incidência da radiação solar direta. Pois da radiação proveniente do sol, aproximadamente 50% da energia recebida na Terra são compostos pelo espectro visível (luz), e uma parcela de 45% é compostas por radiações infravermelhas (calor) (BARROSO-KRAUSE et al, 2003).

Como na iluminação, sobre o ar condicionado existem vários trabalhos publicados, cabendo aqui mencionar os principais aspectos. O sistema de ar condicionado é mais complexo de ser avaliado e entendido, do que a iluminação, dado o número de variáveis envolvidas. Essas variáveis englobam basicamente o sistema, o equipamento e a edificação propriamente dita, que serão comentados mais adiante.

Segundo a ABNT – NB-10, a definição de condicionamento de ar é a seguinte: "É o processo de tratamento do ar que visa ao controle simultâneo, num ambiente delimitado, da pureza, umidade, temperatura e a movimentação do ar." Dependendo da função do ambiente, o sistema indicado poderá exercer o tratamento necessário ao ar: o ar pode ser aquecido, resfriado, a umidade pode ser retirada ou adicionada, a pureza do ar pode ser controlada e o ar condicionado também tem a função de impulsionar e distribuir o ar, nos ambientes ocupados, dentro dos limites requeridos para proporcionar um máximo conforto aos seus ocupantes.

O grande problema é conseguir manter as temperaturas nos diferentes ambientes, dentro dos limites estabelecidos em projeto para prover conforto aos ocupantes, durante todo o ano, considerando que os edifícios estão submetidos a cargas térmicas positivas e negativas, em diferentes zonas. Nas edificações em geral se distinguem dois principais tipos de zonas (NOGUEIRA et al, 2004):

- zonas internas – caracterizadas por possuir uma carga térmica positiva, que indica necessidade de resfriamento, é uniforme ao longo de todo o ano. São normalmente condicionadas por uma instalação independente, freqüentemente de duto único com reaquecimento ou com vazão de ar variável. A diferença entre o ar ambiente e o ar insuflado é geralmente baixa;

- zonas perimetrais (ou externas) – estas zonas são caracterizadas por possuírem cargas térmicas fortemente variáveis em função da hora e da estação do ano, podendo ser positivas ou negativas, de acordo com as condições exteriores. Assim, as instalações destinadas a condicionar estas zonas devem ser dotadas de grande flexibilidade.

Os diferentes tipos de instalações de ar condicionado se classificam de acordo com o fluído utilizado para transportar energia, de forma a equilibrar as cargas térmicas sensíveis e latentes dos ambientes, sendo a seguinte distinção: instalações apenas Ar; instalações Ar-água; instalações apenas Água; instalações de Expansão Direta (NOGUEIRA et al, 2004).

Cada qual com suas vantagens e desvantagens e indicação de uso mais apropriado. Sendo que, para um mesmo sistema existem equipamentos diferentes, que causarão resultados e terão eficiências diversas. A eficiência dos sistemas de ar condicionado é uma característica bastante complexa, uma vez que muitos são os

fatores que a influenciam, tais como o dimensionamento dos aparelhos, seu regime de trabalho e as cargas a que são submetidos. Assim, deve se considerar na compra de um sistema de ar condicionado não só o custo inicial, mas também, fatores como a sua manutenção, aplicabilidade para a situação específica, podendo ocorrer sistemas distintos para as zonas perimetrais e as zonas interiores, etc.

É importante destacar que o ar condicionado é o maior responsável individual pela ocorrência de pontas de demanda de energia elétrica em instalações comerciais. O que ocorre durante o período da tarde, em geral entre 14:00h e 16:00h, quando as temperaturas ambientes são mais altas, pode-se observar este fato na figura 2.1. Isto exige que as concessionárias públicas coloquem em serviço fontes de geração adicional, mais dispendiosas, cobrando dos consumidores comerciais um custo adicional, baseado na sua mais alta demanda de eletricidade das horas de ponta.

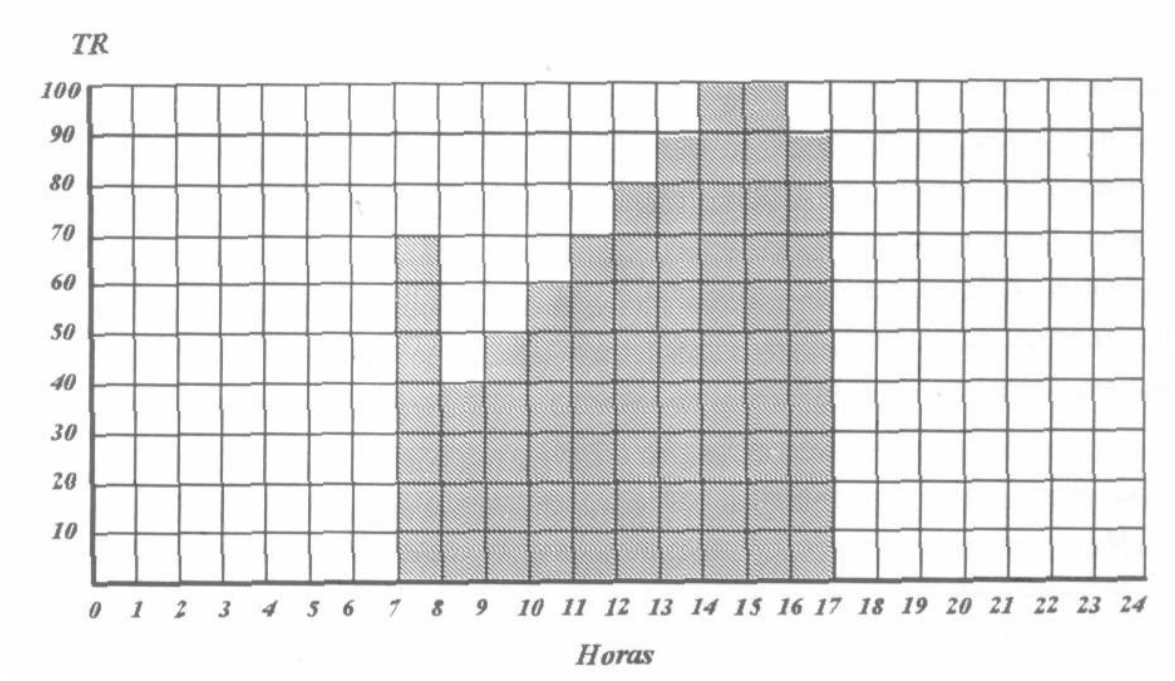

Figura 2.1: Perfil típico da carga de ar condicionado de um edifício comercial
Fonte: NOGUEIRA et al, 2004.

Muitos desses consumidores fazem a opção pela técnica da termo acumulação, que consiste em armazenar frio através da produção de gelo, ou através do resfriamento de água feito pelo sistema frigorífico, durante a noite, fora dos horários de ponta, quando a demanda de energia é mínima, para ser utilizada nos horários de ponta. Reduzindo os custos da energia. E ainda com uma vantagem, pois podem ser especificados equipamentos de capacidade média, operando 24 horas por dia, ao invés de máquinas com capacidade integral para atender aos picos, operando somente 10 ou 12 horas por dia. Pois, na prática o sistema de ar condicionado de edifícios comerciais não opera com 100% de capacidade durante todo o ciclo diário de refrigeração.

A seguir faz-se uma breve explanação sobre o funcionamento dos sistemas de condicionamento de ar empregados em edifícios comerciais, iniciando pelo ciclo de refrigeração e componentes dos sistemas.

No ciclo do Ar, o ar é impulsionado por um ventilador e circula através de dutos de distribuição, sendo insuflado no ambiente através de difusores. O ar é retirado da área refrigerada pelas grelhas de retorno ou algum recurso como “vãos” no forro que possibilitem que o ar retorne ao ventilador inicial. Antes de chegar ao ventilador o ar passa pôr um filtro, afim de que sejam retiradas as impurezas indesejadas contidas no ambiente. Após a filtragem o ar passa pelas serpentinas de resfriamento sendo resfriado e enviado ao ventilador que o redistribui combinado com o ar exterior tomado e filtrado também.

Quanto ao ciclo de Refrigeração, este se inicia em um recipiente de acumulação de um líquido refrigerante mantido a temperatura e pressão elevadas. O líquido circula pôr uma linha de líquido, passa pôr um filtro e é liberado pôr uma válvula de expansão para o evaporador de acordo com a necessidade. Ao chegar ao evaporador, o líquido

esfria-se e a pressão diminui, começando o líquido a evaporar, absorvendo o calor do ar que circunda as serpentinas evaporadoras (o vapor está à baixa temperatura e pressão).

O compressor, pelo trabalho de seu pistão, succiona o vapor refrigerado do evaporador. O vapor será comprimido à alta temperatura e pressão e é levado ao condensador, onde à medida que a condensação se processa, o calor do ar absorvido no evaporador é cedido ao meio de condensação (ar ou água) que passa pela serpentina de condensação. À medida que o calor é retirado o vapor refrigerante volta ao seu estado líquido, retornando para o recipiente inicial ou permanecendo no condensador, que se comporta, em alguns casos, como tanque armazenador.

Este sistema como observa-se anteriormente é composto de quatro fases básicas, mais detalhadamente, são elas:

- Evaporação

  O liquido refrigerante, cuja pressão é reduzida na válvula de expansão, se evapora em recinto fechado chamado evaporador no qual a pressão é mantida no valor desejado, retirando o calor do ar ambiente.

- **Compressão**

O compressor aspira o vapor do refrigerante formado no evaporador e comprime o vapor para que ele possa ser novamente condensado.

- ***Condensação***

O vapor do refrigerante a alta pressão e alta temperatura pode ser facilmente condensado, rejeitando o seu calor para o meio externo através da água ou do ar a temperatura ambiente. No condensador o vapor superaquecido é resfriado até a temperatura de saturação e depois condensado.

Os condensadores a ar são geralmente serpentinas aletadas, por onde circula o ar, naturalmente ou forçado por meio de um ventilador. A condensação a ar é usada para

pequenas instalações ou quando não é possível utilizar água, pois a elevação da temperatura do ar é da ordem de 10 a 15°C que reduz o rendimento da instalação. Os condensadores a água são geralmente tubo e carcaça. Quando é utilizada a água a elevação de temperatura da mesma é da ordem de 5 a 10°C, para atingir a temperatura de condensação. A água depois de passar pelo condensador pode ser recuperada por meio de uma torre de arrefecimento, que baixa a temperatura da água e promove sua circulação.

- Expansão

Para diminuir a pressão do líquido refrigerante vindo do condensador até o evaporador, usa-se um dispositivo de controle chamado válvula de expansão ou tubo capilar. Neste processo a pressão é reduzida enquanto a entalpia permanece constante. Pela válvula de expansão o líquido obtido no condensador, pode ser colocado à pressão de vaporização, compatível com a temperatura de refrigeração desejada, voltando a ser vaporizado.

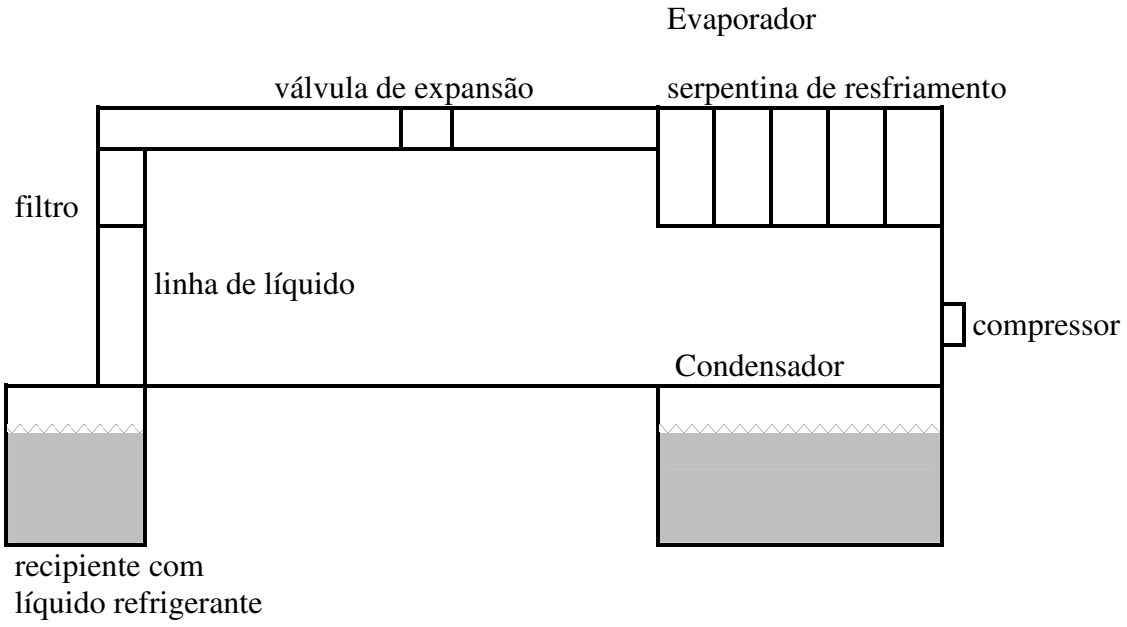

Figura 2.2: Conjunto de elementos ligados em circuito fechado no ciclo de refrigeração – representação esquemática.

Fonte: Elaboração própria

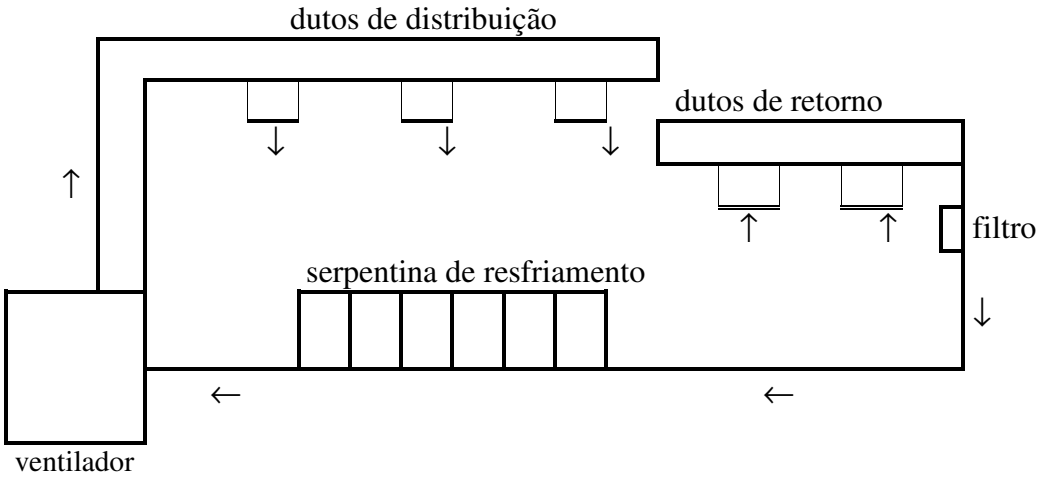

Figura 2.3: Ciclo do Ar - representação esquemática.
Fonte: Elaboração própria

No sistema de expansão direta a serpentina do evaporador absorve calor diretamente do ar que passa através dele. O gás refrigerante, vaporizando absorve calor diretamente do ar. As unidades que fazem parte destes sistemas trazem incorporadas nas mesmas todos os elementos necessários ao seu funcionamento, ou seja: serpentina de expansão direta; compressor; condensador; ventilador; controles e acessórios.

Pode-se classificar estas unidades de expansão direta da seguinte forma: aparelhos unitários de janela ou tipo central compacto; unidades divididas - *splits*; unidades centrais unitárias - *self-contained* que podem ter condensação a água, condensação a ar ou condensação a ar remota.

Nas unidades *split systems* os componentes do ciclo de refrigeração podem ser instalados separados. O condensador e/ou o compressor poderão ser instalados em locais distantes do evaporador que normalmente ficam localizados próximos ou nos ambientes a serem condicionados. Uma vantagem deste sistema é a localização distante do compressor em relação ao local a ser climatizado o que evita ruídos e vibrações

indesejáveis. Normalmente o agente de rejeição de calor no condensador é o ar, são utilizados ventiladores centrífugos ou axiais.

Os aparelhos *self contained* são unidades também chamadas de autônomas, pois possuem todos os equipamentos necessários para seu funcionamento incorporadas na máquina. São unidades dispostas em caixa horizontal ou armário vertical, podendo o ar ser descarregado através de redes de dutos ou através de uma grelha de descarga livre do tipo *plenum*. Estes equipamentos concentram em uma só unidade ou gabinete, o equipamento de movimentação de ar (ventilador), de purificação do ar (filtros) e o ciclo de refrigeração por compressão de vapor.

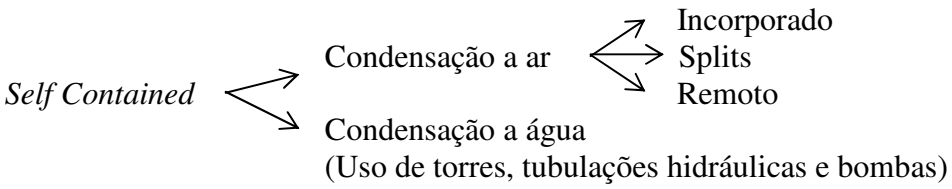

Figura 2.4: *Self Contained* - classificação
Fonte: Elaboração própria

Quando o aparelho *self contained* utiliza condensação a água, eles trabalham com água de rede em circuito aberto ou com um sistema de recuperação de água de condensação, por meio de uma torre de arrefecimento, que pode ser centralizada atendendo a vários condicionadores. As unidades são projetadas para fornecer em torno de 510 (300 a 850) m^3/h por tonelada de refrigeração, fator de calor sensível entre 0,7 a 0,9 e fator de by-pass entre 0,15 a 0,2. Assim as unidades são mais economicamente utilizadas quando estes valores são requeridos.

Pequenas centrais são indicadas para ambientes de tamanho médio como, por exemplo, residências, pequenas lojas, escritórios, entre outros. Dispensam elementos

acessórios como torres de arrefecimento. São de fácil instalação. Grandes centrais são grandes instalações onde todo o equipamento de ar condicionado fica localizado em casa de máquinas adequada. São indicadas para grandes ambientes como cinemas, teatros, salas de conferencias, restaurantes, casa de festas, etc. Locais onde a distribuição do ar não exige dutos muito longos.

Semicentrais são grandes centrais de instalações de ar condicionado nas quais, para facilitar a distribuição do ar, os condicionadores são distribuídos pelo edifício, centralizando-se na casa de maquinas apenas uma parte do equipamento como o sistema de recuperação da água de condensação na torre de arrefecimento.

Quanto aos sistemas de expansão indireta, o ciclo de refrigeração é o mesmo dos sistemas de expansão direta, a diferença do exposto acima está no uso de um meio adicional na absorção de calor do ambiente (normalmente a água gelada). As unidades individuais de resfriamento possuem ventiladores e serpentinas pôr onde circula a água que se tornou gelada no evaporador da unidade central resfriadora. O ar do ambiente passa por estas serpentinas e assim tem-se um controle individual das condições em cada ambiente. A detenção ou solicitação de trabalho da serpentina-ventilador é comandada por um termostato, conforme aumento ou diminuição da carga térmica. Quanto aos condensadores podem ser resfriados por água ou ar.

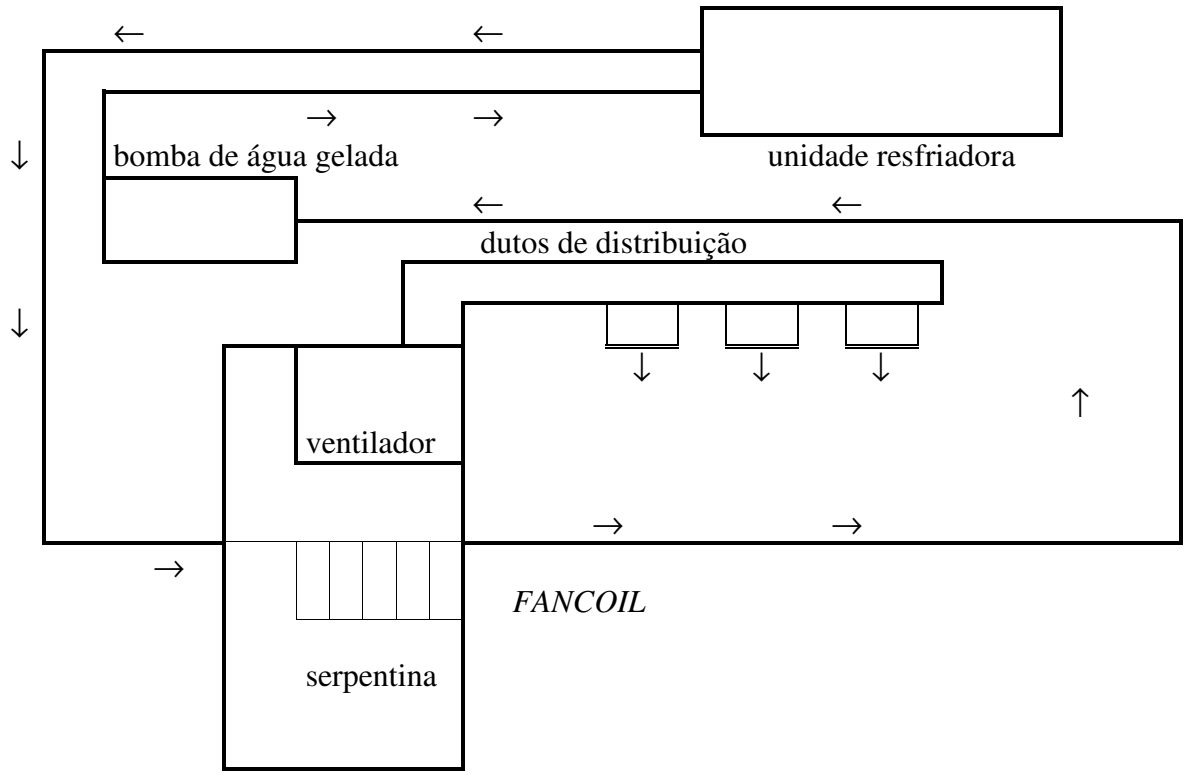

Figura 2.5: Ciclo de um sistema de expansão indireta – *Fancoil*
Fonte: Elaboração própria

No sistema de expansão indireta, *fancoil*, os principais componentes são: central de água gelada, onde estão as unidades resfriadoras de líquido ou sistema de água de resfriamento ou condensação (torres de arrefecimento), bombas de líquido (água), tubulações de água de condensação e controles automáticos. As unidades resfriadoras podem ser diferenciadas pela utilização de compressores e condensadores diferenciados: compressores alternativos ou recíprocos (*chillers*), parafuso e centrífugo (centrifuga); Condensadores à água (tipo *shell-tube*) ou a ar (tipo radiador).

Unidades resfriadoras de água do tipo *Chillers* possuem como componentes básicos de resfriamento, compressor(es) semi hermético(s) alternativo(s) ou parafusos,

condensador(es) a água ou a ar, evaporador(es) e tubulação de refrigerante. São responsáveis pelo resfriamento da água que será distribuída para os *fan-coils*, mantendo uma temperatura de conforto pré-estabelecida de saída.

Os condicionadores podem ser classificados em *fan-coils* centrais (com distribuição através de dutos), *fan-coils baby* (horizontais e verticais) e os *fan-coils* de alvenaria. Estes aparelhos realizam a troca de calor entre a água gelada fornecida pelas unidades resfriadoras e o ar do ambiente. Possui os seguintes elementos: ventiladores, serpentina, filtros de ar, quadro elétrico, gabinete e acessórios.

De acordo com as instalações dos sistemas pode-se optar por um dos tipos de controle: Sistema de Volume de Ar Constante e Temperatura Variável (sistema convencional); Sistema de Volume de Ar Variável e Temperatura Constante (VAV).

No sistema convencional o ar que sai do ambiente, ao circular no retorno geralmente sofre aquecimento em seu percurso devido à temperatura do entre - forro que normalmente possui reatores de luminárias e outros. Antes de chegar à serpentina, dentro da casa de máquinas este ar recebe ainda o ar externo. Caso a temperatura deste ar de mistura estiver abaixo da temperatura de bulbo seco de insuflamento controlada pôr um termostato, faz-se necessário o resfriamento na serpentina até que o ar atinja a temperatura ideal para que possa então ser insuflado pôr um ventilador, circular pela rede de dutos e atingir o ambiente com a carga térmica exigida.

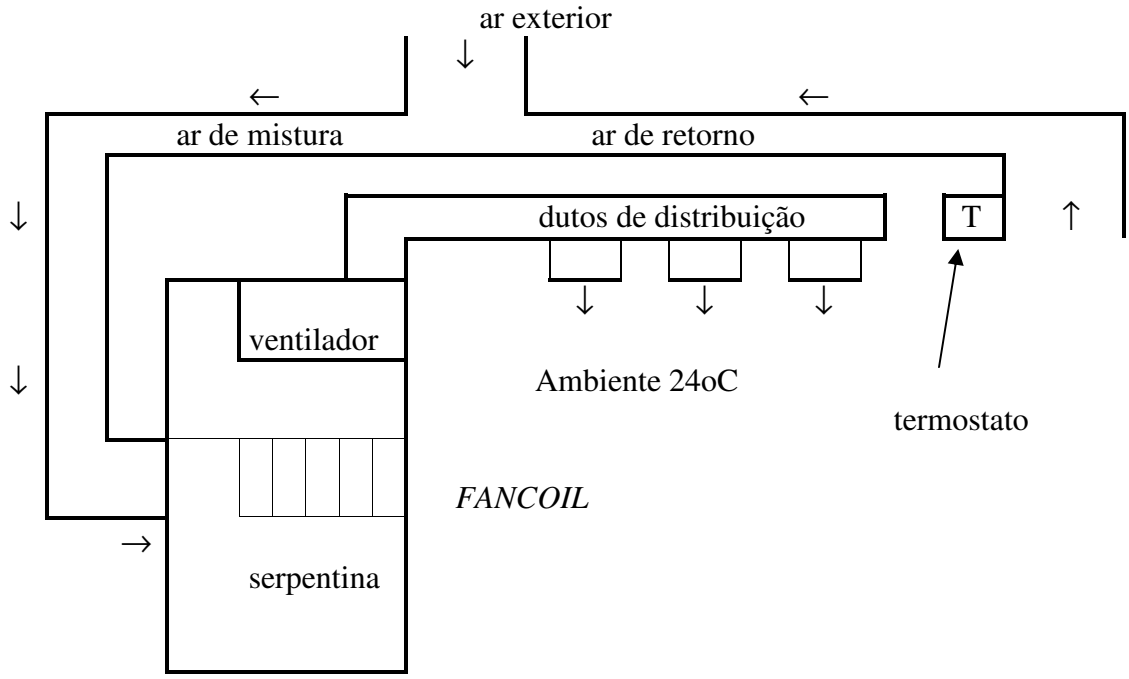

Figura 2.6: Sistema de Volume de Ar Constante e Temperatura Variável - *Fancoil*
Fonte: Elaboração própria

Com relação ao sistema de VAV este se apresenta como um sistema mais econômico que o convencional, porém na instalação, devido aos seus componentes apresenta um custo mais alto. As vazões de ar que serão distribuídas para cada sala são controladas pôr registros que se fecham ou se abrem de acordo com a solicitação, informada pelos sensores de temperatura em cada ambiente. A temperatura de bulbo seco do ar de insuflamento se mantém constante e a variação é na verdade feita no volume de ar que é proporcionado para atender a carga térmica solicitada.

No caso do sistema convencional, caso haja maior solicitação devido ao aumento da carga térmica do ambiente, o sistema gasta mais energia devido a necessidade de trabalhar em seu potencial total. No caso de VAV o que varia é o volume de ar que será liberado, não alterando o esforço do sistema, pois pode-se

balancear, insuflando menor volume de ar em áreas desocupadas pôr exemplo como salas de reuniões.

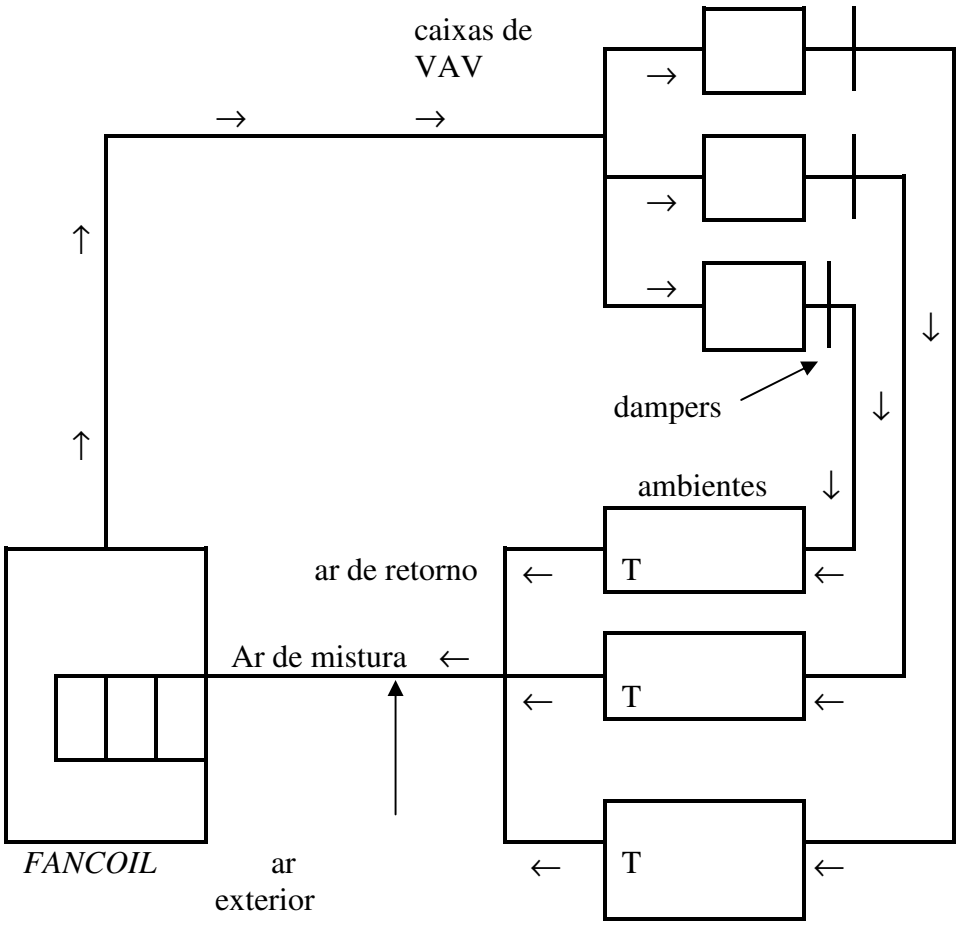

Figura 2.7: Sistema de VAV- *Fancoil*
Fonte: Elaboração própria

Em obras de grande porte em que se possa ter de um armazenador de água gelada ou gelo, têm-se maior eficiência e menor consumo de energia, pela termoacumulação evitando os picos de carga térmica, pois no Brasil a energia é mais cara nos horários de pico, acumulando água ou gelo o sistema pode manter a circulação através do bombeamento evitando o desperdício de todo o sistema, sendo, portanto mais econômico.

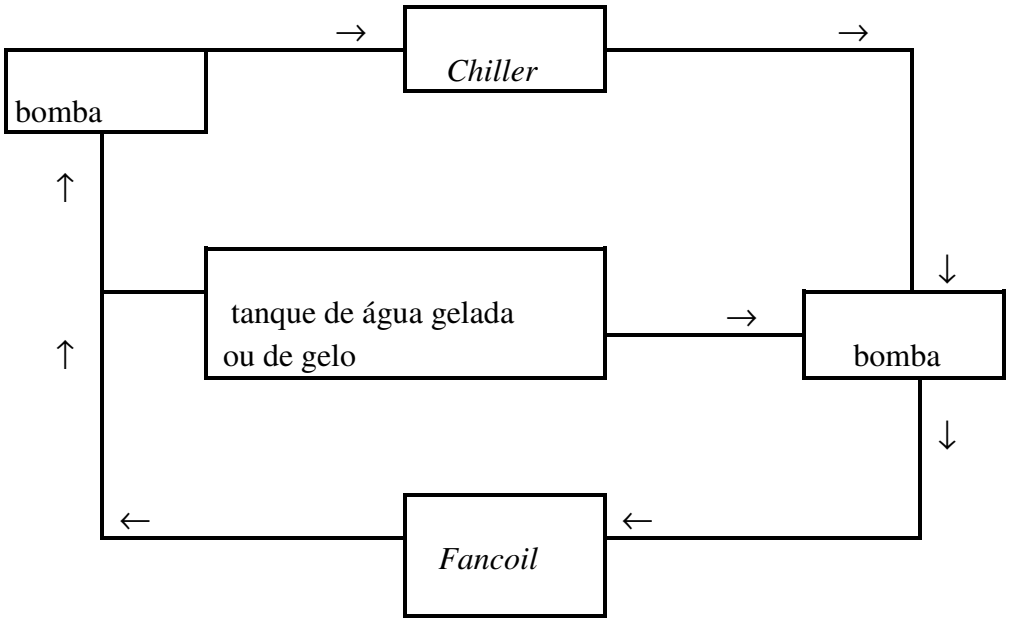

Figura 2.8: Sistema com armazenamento de água
Fonte: Elaboração própria

Além dos sistemas acima citados, algumas edificações estão sendo equipadas com evaporadores de VRV (Vazão de Refrigerante Variável), cuja operação pode ser realizada pôr computadores. Possui baixo consumo de energia, facilidade na manutenção preventiva qualquer falha no sistema é indicada no painel do controle remoto da evaporadora. Existem ainda os Sistemas Hidráulicos de Vazão de Água Variável.

A edificação possui diversos parâmetros que estão intimamente ligados ao uso do ar condicionado, tais como, a finalidade a que se destina (uso residencial, comercial ou industrial), sua ocupação (atividades e usuários), regime de funcionamento (horários) e ao seu desempenho térmico, forma pela qual troca calor com o meio ambiente.

Os equipamentos utilizados em edifícios comerciais são importantes no consumo de energia elétrica. Computadores, impressoras, fotocopias e outros, embora venham sendo aperfeiçoados nos últimos anos, também consomem energia.

4 CAPÍTULO 3 – SIMULAÇÃO – FERRAMENTA PARA QUANTIFICAR A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS COMERCIAIS

O capítulo 3 apresenta o objetivo, a metodologia, e comenta sobre modelos de simulação termo-energética de edificações. Introduz o programa DOE-2 1.E e o VisualDOE, descreve sua base teórica, aborda conceitos importantes sobre carga térmica, e faz uma avaliação deste *software* de simulação, utilizando como referência diversos autores descritos durante o texto. Mostra também, as várias telas que são usadas para que se consiga inserir os dados da edificação no modelo.

4.1 OBJETIVO

Utilizou-se o método hipotético-dedutivo, cuja pergunta é: Quais são as alternativas arquitetônicas para o aumento da eficiência no uso de energia elétrica por edifícios comerciais?

Este trabalho tem por objetivo analisar em detalhes fatores arquitetônicos, as variáveis de projeto, que podem contribuir para reduções do consumo de energia elétrica em edifícios comerciais de escritórios no Brasil, com ênfase em ar condicionado, devido à necessidade de conservação de energia.

Este trabalho busca analisar a relação dos materiais comumente utilizados no envelope construtivo de edifícios de escritórios no Brasil e sua influencia na eficiência energética da edificação. A revisão da literatura mostra trabalhos sobre esses materiais e suas relações com a eficiência energética do edifício. Nenhum deles tem o foco dado pela autora, que compara e quantifica os impactos (apresentando os resultados em tabelas), causados por decisões relacionadas principalmente com a fachada, o telhado e iluminação, entre outros, sobre o condicionamento de ar e no consumo total de energia do edifício.

A principal contribuição do trabalho é fornecer informações técnicas que possam ser usadas para apoiar processos decisórios para arquitetos, engenheiros e especialistas que lidam com o projeto de construção do escritório comercial, principalmente durante a fase inicial do projeto arquitetônico. Opções de *design*, tais como mudanças de orientação e algumas soluções bioclimáticas, não podem ser adotadas depois que a construção do edifício estiver concluída. Além disso, como a metodologia de simulação utilizada permite uma avaliação do desempenho energético do edifício, também se torna muito útil em outras fases do projeto, bem como em *retrofits*.

4.2 METODOLOGIA E CRITÉRIO DE ESCOLHA DO EDIFÍCIO

O método científico conduz a uma reflexão crítica, sendo constituído de diversas partes. As principais seriam a postulação de um modelo fundamentado nas observações ou medidas experimentais existentes, a verificação dos prognósticos deste modelo com respeito às observações ou medições ulteriores e ajustagem ou substituição do modelo conforme as exigências de novas observações (FACHIN, 1993). Assim sendo, a última parte reconduz a primeira, tornando a ciência um processo de evolução contínua.

Segundo FACHIN (1993), "o conhecimento científico se caracteriza pela presença do acolhimento metódico e sistemático dos fatos da realidade sensível". É através de procedimentos metodológicos, tais como classificação, comparação, análise e síntese, da aplicação de métodos, que o pesquisador extrai princípios e leis que estruturam um conhecimento rigorosamente válido e universal.

LAKATOS e MARCONI (2006) afirmam que há o método de aplicação de modo generalizado e métodos de aplicação particular. Para o primeiro, engloba quatro tipos: indutivo, dedutivo, hipotético-dedutivo e o dialético. LAKATOS e MARCONI (2006) apresentam os seguintes métodos de aplicação particular, ditos métodos de

procedimento: histórico, comparativo, estudo de caso, estatístico, tipológico, funcionalista, estruturalista e etnográfico.

Neste trabalho é utilizado o método hipotético-dedutivo. Este método se inicia pela percepção de uma lacuna nos conhecimentos acerca da qual formula hipóteses e, pelo processo de inferência dedutiva, testa a predição da ocorrência de fenômenos abrangidos pela hipótese (LAKATOS e MARCONI, 2006). Estas hipóteses serão as próprias simplificações do modelo.

Neste trabalho o método de procedimento utilizado é um estudo de caso. O direcionamento deste método é dado na obtenção de descrição e compreensão completa das relações dos fatores em cada caso (FACHIN, 1993).

Após a fundamentação teórica, o modelo é aplicado num estudo de campo (CERVO, BERVIAN, 2002) de um edifício comercial de serviços parcialmente automatizado no Estado do Rio de Janeiro, visando uma redução do consumo de energia elétrica com níveis adequados de conforto, bem como, verificar se a arquitetura do edifício considerado inteligente realmente se traduz em menores consumos de energia. O tipo de pesquisa de campo é quantitativo-descritivo a fim de analisar a hipótese.

Uma vez que o prédio está em funcionamento têm-se os dados de desempenho real, não se faz necessário um levantamento exaustivo de dados pelo método da medição, para se atingir o objetivo desta dissertação. O que incorreria em custos mais elevados, pois os prédios comerciais em geral são complexos, com vários equipamentos, necessitando, portanto de um grande número de aparelhos de medição operando simultaneamente, por um período de tempo relevante.

Metodologia baseada nas intensidades de uso de energia elétrica e nos dados de potências instaladas, ponderada pela área construída total da edificação. O modelo permite uma melhor compreensão da demanda, da estimação do consumo energético

predial e da abrangência das medidas de conservação de energia elétrica em edifícios comerciais. Foram observadas a transmissão térmica do conjunto da edificação, o fator solar, inércia térmica e a energia útil por m2 para manutenção de conforto térmico, entre outros aspectos.

O modelo de simulação usado nesta tese é aplicado ao programa VisualDOE, que foi escolhido por ser uma versão para ambiente *Windows* (paga), utilizando o módulo de cálculo do DOE-2.1E, que é compatível apenas com o sistema operacional UNIX. Um programa de domínio público amplamente divulgado no exterior, desenvolvido por John Hirsch e outros do Laboratório Lawrence Berckeley da Universidade da Califórnia, com apoio do *U.S. Department of Energy* e de concessionárias de energia (BUHL, W.F., 1994), com o objetivo de apoiar a pesquisa do consumo de energia em edifícios.

Antes do estudo de campo, uma avaliação qualitativa do modelo é realizada para validação do mesmo (LAKATOS e MARCONI, 2006). Para isso, algumas situações são simuladas a fim de verificar o resultado do modelo comparando-os com medições em protótipos. O nível de desagregação das amostras medidas para verificação deve ser extenso o suficiente para garantir sua confiabilidade. O modelo utilizado neste trabalho foi amplamente utilizado em seu país de origem, para o qual foram realizados estudos de validação para aqueles climas e técnicas construtivas (CLARCKE, J., 1993).

No Brasil, diversos trabalhos têm sido desenvolvidos com esta ferramenta de simulação do consumo de energia elétrica na edificação, pode-se citar LOMARDO (2000), validando a aplicabilidade desse instrumento à nossa situação especifica (existência de dados climáticos, de equipe de suporte técnico, etc..). A Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, através do Prof. Roberto Lamberts e outros pesquisadores, têm produzido vários trabalhos utilizando esta ferramenta. Inclusive o

Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - LabEEE é suporte do DOE-2 para a América do Sul, desde 1994.

O PROCEL-ELETROBRÁS na condição de coordenador, utilizou o VisualDOE no projeto 6 cidades, que foi executado por diversas instituições de pesquisa do país. A experiência principal adquirida com este projeto foi a constatação de que programas computacionais exigem tempo excessivo no treinamento dos usuários, o que compromete os prazos e encarece a pesquisa. A gama de variáveis envolvidas no processo de simulação exige um levantamento de dados minucioso na edificação, dificultando a etapa de calibração do modelo virtual (WESTPHAL, 2003).

Diversos diagnósticos energéticos em indústrias e prédios comerciais e residenciais, tem sido realizados pelo Cento de Pesquisas em Energia Elétrica (CEPEL) no CATE - Centro de Aplicações de Tecnologias Eficientes - em parceria com o PROCEL, utilizando a ferramenta de simulação VisualDOE.

Para aplicação do modelo proposto, foram levantados os dados de entrada do mesmo junto à concessionária de energia, a administração do prédio e do condomínio, tais como, o consumo total, o consumo de energia e a demanda de potência para cada uso final ou por equipamento, as temperaturas das superfícies do edifício e também as escalas de uso do prédio reais, acrescido das variáveis climáticas dos meios internos e externos local. Estes são então apresentados em tabelas. Durante a aplicação do modelo, é utilizada a observação assistemática (LAKATOS e MARCONI, 2006) para acompanhar o funcionamento do edifício e permitir uma melhor compreensão dos resultados obtidos.

Um modelo de um edifício de escritórios existente, chamado de caso base foi desenvolvido utilizando o *software* VisualDoe 2.61. A simulação foi usada como uma ferramenta que permitiu fazer um diagnóstico energético no caso de um edifício real

modelado no programa, fornecendo a avaliação do desempenho energético do edifício quanto submetido a alterações do: seu envoltório; orientação geográfica; iluminação; equipamentos; condicionamento de ar. Fornecendo uma visão dinâmica do comportamento termo energético do edifício associado à realidade climática. Provando ser útil na fase de estudo preliminar, permeando todo o projeto e em retrofits. Fornecendo dados técnicos necessários para embasar decisões de projeto.

Segundo o IPCC Intergovernamental Panel on Climate Change, o maior uso de energia em edifícios comerciais em climas quentes ocorre para condicionamento de ar, para proporcionar conforto térmico no ambiente de trabalho e satisfazer as necessidades do usuário (Metz et al, 2007). Diversos trabalhos foram desenvolvidos nesta área, mas a metodologia utilizada diferencia estes trabalhos dos outros. Neste trabalho, a porção de consumo relativa ao ar condicionado foi enfatizada, pois é altamente representativo e oferece um elevado potencial de adequação, como resultado de fatores locais de carga térmica. Comparando os impactos causados por decisões de fachada e cobetura no consumo de energia elétrica para condicionamento de ar e no total da edificação.

Após a aplicação do modelo, a situação atual e a situação proposta pelo modelo são confrontadas no intuito de efetuar uma análise quantitativa dos dados, utilizando-se para isso gráficos e tabelas comparativas para expressar os ganhos obtidos.

> O edifício foi escolhido inicialmente, por apresentar as características atuais de mercado para imóveis destinados a empresas de cunho administrativo, com rotinas de uso típicas na área de prestação de serviços. Posteriormente, por ser um prédio comercial provido de alta tecnologia e todo ele ocupado por uma mesma empresa. Por seu estilo arquitetônico com fachadas envidraçadas (pano de vidro), janelas que não abrem e o fato dele ser totalmente climatizado. Também, pela possibilidade de acesso aos dados técnicos necessários à execução deste trabalho, e por sua situação geográfica, na Barra da Tijuca, bairro em expansão com média densidade ocupacional da zona urbana.

As características descritas acima são amplamente utilizadas em edifícios de escritórios no Brasil. Como o edifício analisado não tem janelas que se abrem, é possível fazer cálculos mais precisos que não são influenciados pelo comportamento dos ocupantes no controle da ventilação natural (ROETZEL et al., 2010). Embora a fachada de vidro proporcione vantagens além de sua boa estética, ela pode não ser a melhor solução para evitar altas cargas de resfriamento causadas pela radiação solar incidente nestas superfícies, o que pretende-se investigar com a pesquisa.

O modelo de simulação adotado neste trabalho foi escolhido principalmente em função de compreender a operação do sistema de climatização artificial. Teve como diretriz otimizar uso final de condicionamento de ar, pois ao contrário de outros usos finais que podem ser levantados por observações no local, implica no cálculo de diversos fenômenos térmicos (KAPLAN, 1991). A parcela relativa ao consumo de ar condicionado foi enfatizada neste trabalho, uma vez que é altamente representativo e oferece um elevado potencial de adequação, do ponto de vista da eficiência do equipamento e, como resultado de fatores locais de carga térmica.

A metodologia utilizada para estudar a edificação consistiu em verificar os efeitos da alteração de determinados parâmetros no projeto arquitetônico, comparando-os com o caso base. Após essa análise inicial, com o objetivo de avaliar a sensibilidade do edifício, com relação às mudanças no envelope, que são, neste caso, principalmente relacionadas com fachada e cobertura. Após esta análise, foram simuladas situações diferentes, como a troca de vidro, uso de proteção externa, substituição de cortina de vidro, alvenaria nas janelas, etc.

Nesta fase, o comportamento energético de edificação é avaliado, que é o objetivo do presente trabalho. Primeiro fez-se à calibração do modelo do prédio estudo de caso, depois foram desenvolvidos cinco cenários. O primeiro cenário apresenta as alterações de cobertura, o segundo mostra modificações de fachada, o terceiro aplica

mudanças de orientação solar, o quarto engloba outras alternativas incluindo a iluminação, o quinto apresenta as medidas combinadas. Do primeiro ao quarto cenário as simulações estão desagrupadas para fins de quantificação de cada medida proposta individualmente.

Por fim, o trabalho fornece orientações práticas de apoio as escolhas para uma correta concepção de edificação visando um aumento da eficiência no uso da energia elétrica com materiais locais, tanto para novos edifícios comerciais como em *retrofits*.

Esta dissertação apresenta algumas limitações, dentre elas, abrange somente o seguimento de edifícios comerciais administrativos, além das citadas anteriormente verificadas pelo PROCEL no projeto 6 cidades.

4.3 MODELOS DE SIMULAÇÃO VISANDO O AUMENTO DA EFICIÊNCIA NO USO DE ENERGIA ELÉTRICA POR EDIFÍCIOS COMERCIAIS

Diversas são as medidas passíveis de implementação visando à eficiência energética da edificação. Algumas são mais simples de serem aplicadas, como as melhorias do sistema de iluminação, através de uma manutenção adequada, outras, exigem maior responsabilidade, como a troca do sistema de resfriamento e a modificação dos materiais de construção do prédio indicadas para edifícios novos. Essas medidas devem ser respaldadas por critérios técnicos, considerando a vida útil, o custo de execução e o período necessário ao retorno do capital investido. Parâmetros estes, que em última análise garantem o investimento do empreendedor em determinado projeto.

O custo de implementação não apresenta dificuldades para seu cálculo, o problema é quanto ao cômputo da energia poupada que exige uma complexidade um pouco maior. Sendo de suma importância, uma vez que o ressarcimento dos

investimentos é feito a partir da economia proporcionada pela medida adotada. São diversas variáveis que interagem simultaneamente, qualquer mudança nas cargas térmicas geradas internamente e das cargas térmicas externas refletem no consumo de ar condicionado, que também interage com as condições climáticas. Devido às interações que ocorrem, o resultado dos ganhos obtidos por medidas combinadas é diferente do somatório de ganhos obtidos por cada medida (PEDRINI, 1997).

Usualmente, problemas desse tipo envolvem cálculos matriciais e interações que dificultam sua resolução manual. Com a popularização dos microcomputadores pessoais e a crise do petróleo, diversas ferramentas computacionais foram desenvolvidas no intuito de auxiliar engenheiros e arquitetos a analisar fenômenos complexos, de forma a balizar suas decisões, dentro de critérios técnicos e no contexto do desenvolvimento sustentável. Embora na prática, a maioria dos programas desenvolvidos destinado a uso comercial exige alto grau de qualificação e treinamento do usuário, o que dificulta de certa forma sua divulgação.

Os projetos do setor comercial ou público são geralmente complexos, requerem a integração de todas as variáveis, tanto climáticas quanto humanas, e o uso da simulação é indicada nestes casos. Devido à alta densidade de ocupação nestes espaços, o conforto é na maioria das vezes obtido pelos sistemas artificiais de condicionamento de ar.

Utiliza-se então, programas computacionais de simulação termo energética com o intuito de analisar dentre dezenas de opções a que melhor se aplica, considerando nesta análise custo e prazo. Possibilita analisar uma edificação e otimiza-lá em diferentes níveis de complexidade. Existem vários destes programas, algumas versões gratuitas, outras com diferentes preços de aquisição, umas mais completas, outras mais simples, rodando em diversos sistemas operacionais, cabe então ao usuário escolher a

que melhor se aplique. Alguns destes programas são o DOE-2 1E e suas versões para PC o VISUAL-DOE e o POWERDOE, o ESP-r, o BLAST e sua versão PC, o PC-BLAST, o CONFIE, o CASAMO-CLIM, o THEDES, o ARQUITROP, o ARCHIPAK, ENERGYPlus, ENERGY –10 e RADIANCE.

Alguns programas são mais indicados para determinadas etapas do projeto, devendo ser escolhidos de acordo com a necessidade a ser atendida naquela fase. Por exemplo, não se deve usar um *software* complexo no início da concepção arquitetônica, por outro lado a utilização de um instrumento apropriado é de suma importância, visto que impede modificações capitais e tardias do projeto, que podem inviabilizar sua implementação devido a análise custo benefício. Porém é preciso estar atendo a escolha da ferramenta adequada, pois a maior parte deles não expõe seus limites de utilização e suas hipóteses simplificadoras (MAIA, 2002).

A maioria dos programas computacionais para análise térmica e energética de edificações utiliza arquivos com dados climáticos horários anuais para representar a influência do ambiente externo sobre a edificação (WESTPHAL, 2003). O arquivo utilizado neste trabalho foi desenvolvido no Núcleo de Pesquisa em Construção – NPC – da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC (GOULART at al, 1997) e está disponível em sua página na Internet. Tratou dados climáticos horários de 14 cidades brasileiras, entre elas o Rio de Janeiro, em formato TRY (*Test Reference Year*), compatíveis com o programa VisualDOE.

Para fazer uma simulação, procede-se basicamente reproduzindo as características de uma edificação, representada pelas variáveis de entrada. A forma geométrica da edificação, os elementos construtivos empregados e as suas propriedades termofísicas e radiantes, os sistemas de iluminação e climatização artificial, os equipamentos e as rotinas de uso, correspondem a centenas de variáveis. Uma vez

definido o modelo, é simulado seu funcionamento horário anual com condições climáticas estatísticas ou reais, também horárias (PEDRINI, 1997).

Um dos principais motivos de discordância entre o modelo e a realidade advém do algoritmo e dos valores declarados às variáveis de entrada que são, na maioria das vezes, de responsabilidade do usuário. Os erros das variáveis podem estar associados à incerteza ou precisão do valor medido ou, com mais freqüência, à forma pela qual foi obtida. A obtenção de valores mais precisos das variáveis de entrada demanda mais recursos, encarecendo seu custo. Porém nem sempre a melhora de um modelo se traduz na melhoria de sua precisão, acentuando a importância dos métodos de calibração (PEDRINI, 1997).

A calibração consiste em comparar dados de desempenho real com os simulados, a fim de corrigir as variáveis de entrada para melhorar sua fidelidade. É um processo de ajustamento progressivo dos dados fornecidos ao modelo, em que os resultados são melhorados através de sucessivas correções, de forma gradativa, realizadas em função de medições mais precisas, justificadas pelas deficiências evidenciadas no modelo. Seu uso permite iniciar o estudo de casos de forma parcimoniosa e seja melhorado conforme as necessidades e recursos disponíveis.

4.4 DOE-2 / VISUALDOE – INTRODUÇÃO E BASE TEÓRICA

O DOE-2 1E foi escolhido pela UFSC como um programa padrão para iniciar pesquisas de análises termoenergéticas de edificações nacionais, visando implantação de medidas de redução de consumo de energia. Visto ser um programa amplamente divulgado e largamente utilizado como ferramenta de projeto de edificações, em

projetos de conservação de energia e desenvolvimento de padrões de uso de energia (PEDRINI, 1997).

O programa foi utilizado para dar suporte ao desenvolvimento das normas *American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers* – ASHRAE, da Jamaica, do México, de Hong Kong, Singapura, Filipinas, Malásia, Tailândia e Austrália. Prediz o uso e custo horários da energia consumida em uma edificação, considerando praticamente todas as variáveis que influem direta ou indiretamente no consumo.

O DOE-2 1E considera em sua análise os dados construtivos, tais como, orientação, localização, materiais, sombreamento; os dados de utilização: número de pessoas, tipo de atividades, horários de trabalho; os dados climáticos: temperatura, umidade, radiação solar; os dados do ar condicionado: tipo, capacidade, estratégias de funcionamento, temperaturas de ajuste; os dados tarifários: custos por KWh de consumo e por KWh de demanda; e de operação do edifício e equipamentos.

O VisualDOE 2,61, utiliza o DOE-2.1E (de domínio público, na versão para estações de trabalho), como núcleo de cálculo, apenas incorporando novos módulos para facilitar entrada e saída de dados, utilizando o ambiente *Windows*.

O DOE-2.1E utiliza para entrada de dados uma linguagem específica denominada BDL (*Building Description Language*), é o primeiro módulo e atua como decodificador, compila o arquivo escrito pelo usuário para o código do computador. É responsável pela configuração espacial do modelo, inclui os componentes construtivos, a utilização do prédio, as cargas de iluminação e de equipamentos diversos, os aparelhos de condicionamento ambiental disponíveis, etc.. Compreende a descrição do edifício com todos os seus componentes. Os outros quatro módulos são: *LOADS* (carga térmica), *SYSTEMS, PLANTS* e *ECONOMICS* (econômico-financeiro). Pode-se

observar o fluxograma, figura 3.1, de funcionamento do programa bem como sua estrutura de entrada e saída de dados.

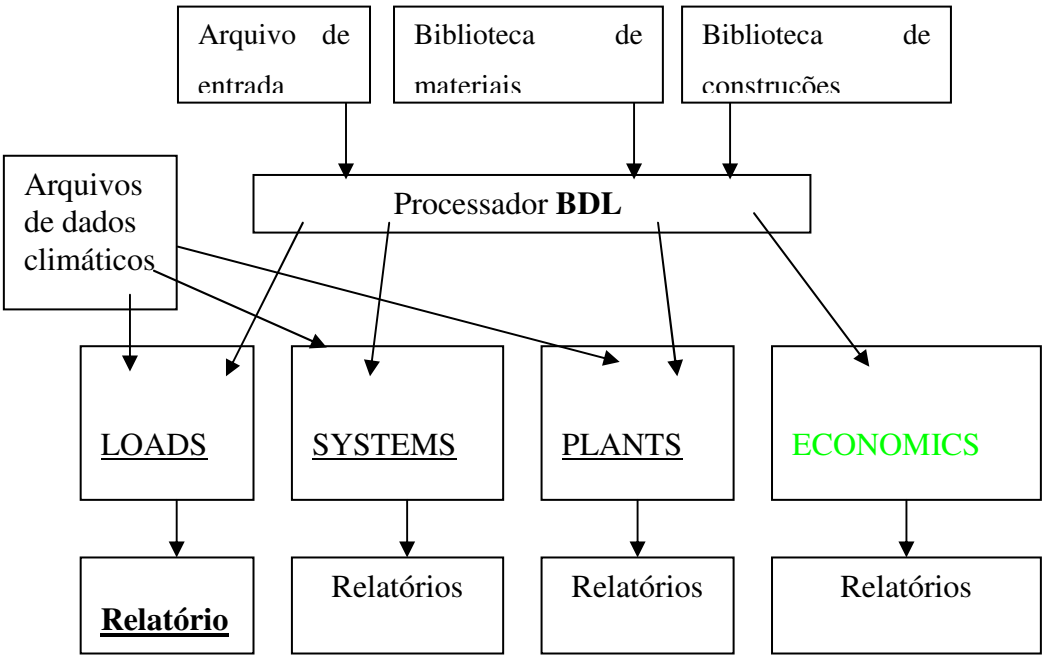

Fig 3.1: Estrutura do Programa DOE-2. 1E
Fonte: SIGNOR, 1999.

O sub-programa *LOADS* utiliza dados climáticos, orientação geográfica, características do envolvente e os padrões de uso e ocupação, para calcular as cargas térmicas de cada espaço de uma edificação em intervalos de uma hora. O princípio de cálculo utiliza o fator de resposta, que calcula a carga térmica global, a partir das cargas instantâneas originadas pelas superfícies envoltórios do edifício e de outros ganhos internos de calor. Sendo que cada espaço é considerado a uma temperatura constante, especificada pelo usuário, negligenciando as variações de temperatura interna no cálculo das cargas térmicas. Os resultados do *LOADS* permite avaliar os picos de cargas térmicas, cargas de projeto e cargas horárias nos espaços.

O sub-programa *SYSTEMS* usa a saída de dados do *LOADS*, onde aqui sim, são consideradas as variações de temperatura interna. Ele calcula as demandas para

ventilação, água quente e fria, eletricidade e outros usos para manter a temperatura e umidade dentro dos valores estipulados. Equipamentos de ar condicionado, ventilação e aquecimento são avaliados neste módulo, que calcula as curvas de carga elétrica desses sistemas, em função dos resultados das cargas térmicas[20] e da configuração desses equipamentos, definidos no módulo inicial.

O *SYSTEMS* compreende a simulação do sistema secundário[21] de condicionamento de ar, a partir da caracterização de seus componentes e dos resultados gerados no *LOADS*. Permite avaliar o comportamento térmico e energético da zona sob condições de operação do condicionador de ar. Trata também dos aparelhos tipo unitário, que comportam em uma unidade todo o circuito de resfriamento, tais como, os condicionadores de janela e *self-contained*.

O programa DOE2.1E têm diversos modelos de sistemas para climatização artificial, abordando todos os existentes no mercado nacional. Porém é necessário que o usuário tenha conhecimento do sistema de ar condicionado, seus componentes e o princípio básico de funcionamento. Desta forma irá escolher a opção mais adequada dentre as disponíveis, são várias possibilidades e dentre alguns itens as diferenças são sutis.

O *PLANTS* simula o comportamento do sistema primário de ar condicionado (*boilers*, *chillers*, torre de resfriamento, etc.) usando as demandas calculadas pelo *SYSTEMS*, também calcula a curva de carga elétrica desses sistemas.

E o sub-programa *ECONOMICS*, simula o custo do consumo de energia elétrica em função das tarifas fornecidas, calcula os custos sobre o consumo e demanda.

[20] McQUISTON e SPITLER (1994) definem Carga Térmica como, "a taxa na qual o calor deve ser retirado do ambiente para manter sua temperatura e umidade relativa constantes".
[21] Sistema secundário é o responsável direto pelo condicionamento da área ou zona. Caracteriza-se por ser instalado diretamente no local ou próximo à zona condicionada, então neste caso, emprega-se rede de dutos de ar.

4.5 AVALIAÇÃO E UTILIZAÇÃO DO *SOFTWARE* DE SIMULAÇÃO VISUALDOE

O VisualDOE versão 2.61 não considera a existência de ventos externos, ou seja, o efeito de convecção nas superfícies externas das fachadas, que modifica a temperatura interna provocando uma diminuição no consumo de eletricidade para condicionamento de ar. Neste caso específico de um edifício comercial com sistema permanente de climatização artificial, não chega a comprometer seus resultados tanto quanto em uma edificação com climatização mista. Embora a localização geográfica do prédio analisado, em zona pouco densa, favoreça o uso da ventilação natural.

Outra limitação deste trabalho é quanto ao programa utilizado na simulação, o Visual-DOE. Pequenos problemas de algoritmo podem ocasionar diferenças de consumos simulados. O programa dá um tratamento linear a alguns parâmetros, tais como aqueles que envolvem radiação (WWR[22], PF[23], SC[24]), cujos fenômenos não são lineares. Nos testes efetuados por SIGNOR (1999), o consumo de energia elétrica apresenta-se diretamente proporcional a eles.

Porém WESTPHAL (2003) utilizou um método de simulação que permitiu a identificação e correção de falhas no algoritmo do programa desenvolvido. Constatando que a diferença máxima verificada entre o consumo de energia elétrica estimado pela versão final do programa e o consumo apresentado como solução analítica na metodologia de validação foi de apenas 1,3%.

A simulação da edificação permite avaliar o impacto de medidas construtivas sobre o modelo base da edificação, representante da situação atual. Para criar esse modelo base é necessário visitar a edificação e coletar diversas informações sobre os

[22] WWR- *Window Wall Ratio*, relação área de janela | área de fachada. Expressa a porcentagem da área de janelas ou envidraçados que estão presentes nas fachadas do edifício.
[23] PF- Proje*ction Factor*, fator de projeção. É outra relação associada às janelas do prédio, desta vez considerando os seus brises.

sistemas de iluminação, de ar condicionado, construtivo, e arquitetônico, além dos equipamentos utilizados nas atividades de trabalho diário, quantidade de pessoas e perfil de ocupação da edificação. Além desses dados é necessário conhecer os dados climáticos do local, a orientação da edificação e as características térmicas de todos os materiais utilizados e que poderão ser propostos.

A seguir, são apresentadas nas figuras 3-02, 3-03, 3-06, 3-07, 3-09 e 3-14 as telas do módulo principal para a criação do modelo base, algumas das telas secundárias também são mostradas adiante em outras figuras e a descrição das suas características.

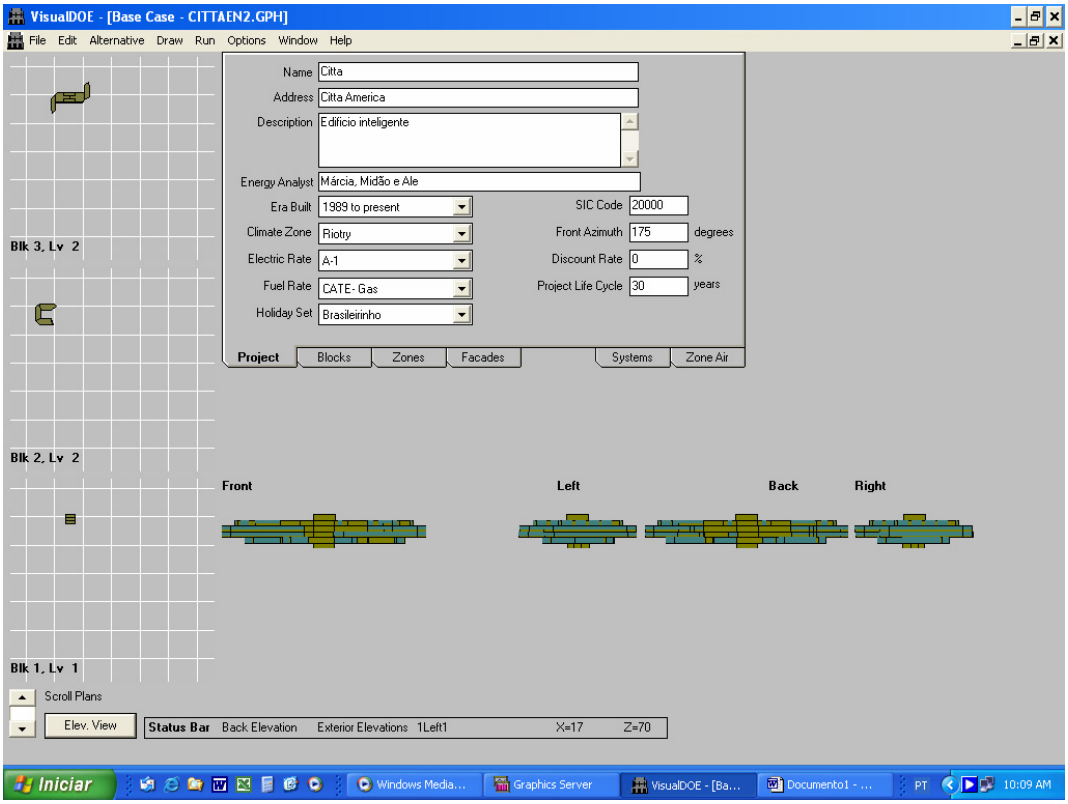

Fig. 3.2: *Folder Project* - Editor de dados globais da edificação
Fonte: Programa VisualDOE

[24] SC- *Shading Coefficient*, coeficiente de sombreamento dos vidros. Expressa a porcentagem de radiação solar que passa pelo vidro considerado, comparado ao vidro padrão ou comum, que se trata de uma lamina incolor, de 3,0 mm de espessura.

No *Folder Project* (fig. 3.2) é feita a identificação do modelo, são apresentados os dados globais da edificação, tais como, o nome para o projeto em estudo (*name*), endereço (*address*), descrição sucinta do edifício (*description*), o analista que fará a simulação energética (*energy analyst*), a data de construção do prédio (*era built*), o clima disponível na biblioteca (*climate zone*), a tarifa elétrica (*eletric rate*), se existe outro tipo de energia além da elétrica (*fuel rate*), a escala de feriados (*holidays set*), o azimute frontal[25] (*front azimute*), o ciclo de vida do projeto (*project life cicle*), usado para analisar a viabilidade econômica das modificações propostas, entre outros.

> O item relativo aos feriados é de grande importância para edifícios comerciais de escritórios, estudo de caso deste trabalho, pois nos dias de feriados a ocupação do prédio é muito baixa e não pode ser considerado como dia de trabalho normal, estes dados influenciam diretamente no cálculo do consumo de energia elétrica.

[25] Azimute frontal corresponde ao ângulo formado pelo Norte geográfico e a normal á fachada inferior do desenho da planta baixa. A fachada de baixo deve corresponder à fachada principal, para efeito de padronização. Quando a normal à fachada aponta para o Norte o azimute é 0°, para o Leste é 90°, para o Oeste é 270°, e para o Sul é 180°. O ângulo é sempre medido no sentido horário em graus (MAIA, 2002).

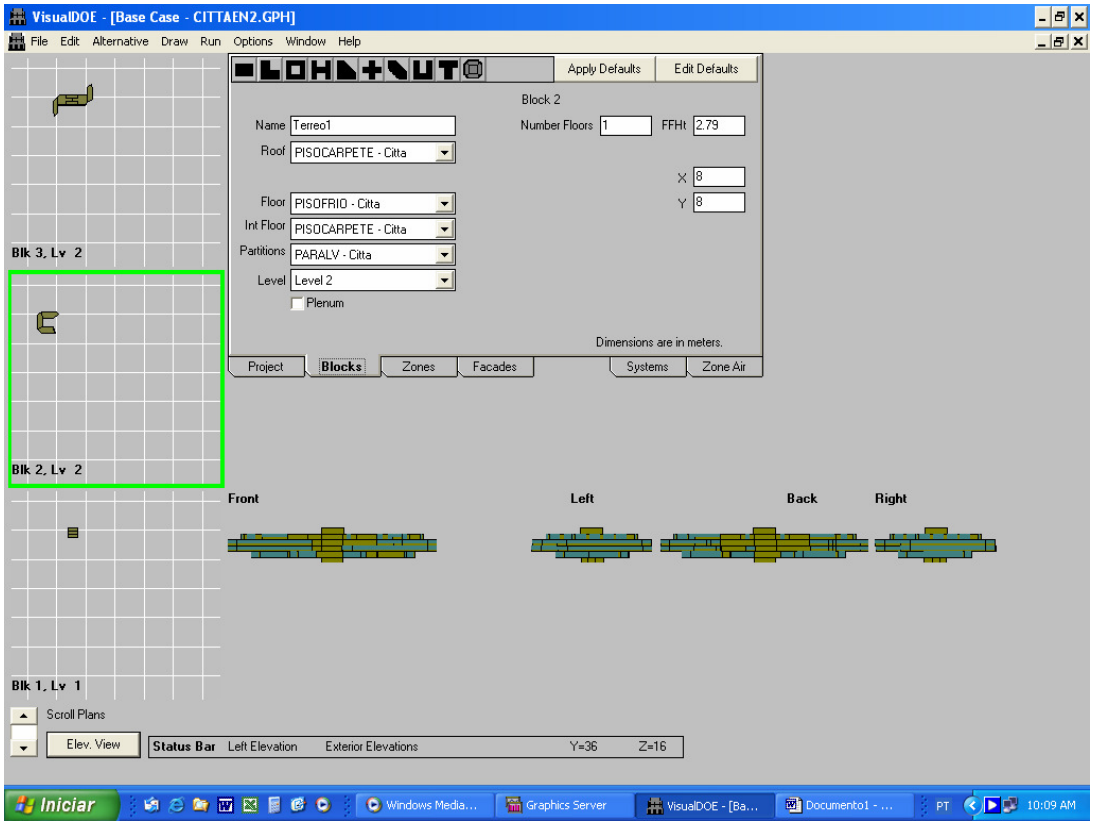

Fig. 3.3: *Folder Blocks* - Editor de blocos
Fonte: Programa VisualDOE

No *Folder Blocks* (fig.3.3), editor de blocos, a caracterização geométrica da arquitetura do prédio e os dados construtivos são definidos. Existe uma série de formas de blocos predefinidas e a opção de importar a forma de arquivos CAD, que é feita inserindo o ícone de *custom block editor* no quadrado de vista plana ou *plan view*, localizado a esquerda da tela. Quando esta última opção for utilizada é preciso chamar o arquivo salvo em formato dxf que contem a geometria feita com polígono, estes polígonos configuram as zonas, e são inseridos um a um pelas suas coordenadas X e Y correspondentes ao vértice inferior esquerdo, são agrupados formando um bloco. Modificações, acréscimos e até mesmo apagar por completo um bloco são ações que podem ser feitas ao longo da modelagem.

O nome do bloco (*name*) deve estar associado ao critério de criação do mesmo de modo a facilitar a operação do modelo posteriormente. Por exemplo, deve-se fazer uma correspondência entre os andares do edifício com o nome do bloco, o térreo teria o nome de térreo no modelo, o primeiro andar seria equivalente ao primeiro bloco, e assim por diante de modo a facilitar sua identificação posteriormente. Embora no quadrado de vista plana onde é visualizado o bloco plano (vista superior ou planta baixa) ele tenha uma identificação fornecida pelo programa, que provavelmente será diferente do nome utilizado pelo usuário.

Para cada bloco são descritos os dados construtivos estruturais e de materiais de acabamentos do teto (*roof*), de piso (*floor*), do piso do andar de cima, se for piso intermediário (*intfloor*), as divisórias, repartições ou paredes entre as zonas (*partition*) e o nível do bloco (*level*) com relação ao edifício todo, incluindo subsolo. Todos os elementos citados anteriormente só podem ser de um único tipo para todo o bloco, o que ocasionalmente exige que se façam simplificações, pois exemplificando, nem sempre o piso tem o mesmo material de acabamento em todo o andar. Nesta etapa a biblioteca construtiva já deve ter sido criada e estar disponível para acesso pela lista *drop down*.

É preciso informar se tem rebaixo ou pleno (*plenum*), o número de andares com a mesma forma e padrão, ou seja, o mesmo bloco (*number floors*), a diferença entre pisos (pé direito) ou ,explicando melhor, a distância entre a superfície de cima da laje de piso até a superfície de cima da laje de teto (*FFHt*: *floor-to-floor height*), afastamento interno da zona periférica (*perimeter depth*) e distância entre a superfície de cima da laje de teto até a altura do rebaixo (*PlnHt*: *plenum height*), conforme ilustrado na fig. 3.4.

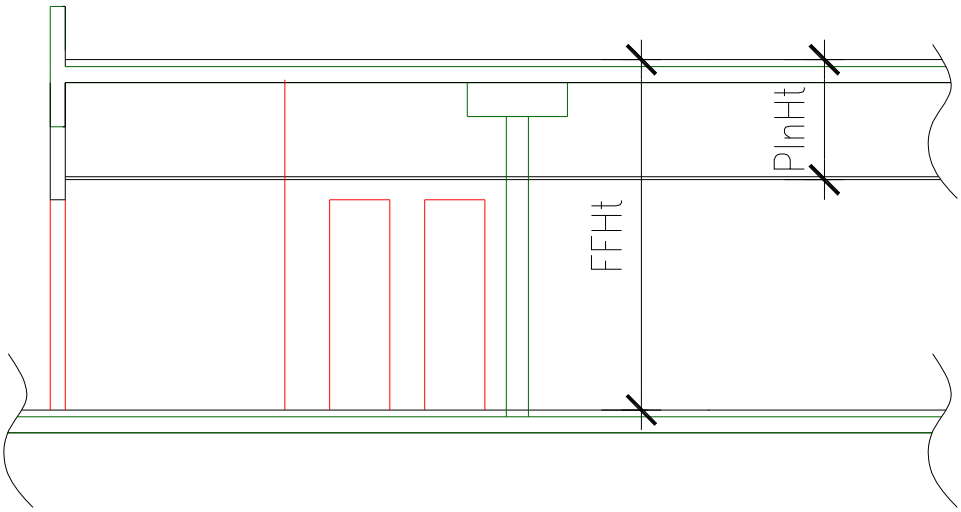

Fig. 3.4: Desenho com as indicações de *FFHt* e *PlnHt* considerados pelo Programa VisualDOE
Fonte: Elaboração própria

Sempre que o bloco é criado, as vistas superior, lateral direita, lateral esquerda, frontal e posterior, são mostradas na forma de desenho geométrico para que o operador possa conferir o resultado dos dados inseridos. Podem existir mais de três níveis de vistas planas, embora somente três níveis sejam mostrados de cada vez, posicionados do lado esquerdo do folder. As vistas de elevação aparecem abaixo dos *folders*. Precisando de uma visualização mais ampliada, basta dar dois cliques no quadrado da vista superior ou nas vistas de elevação, isto fará com que o tamanho de visualização seja triplicado. O programa permite ainda uma visualização em três dimensões dos blocos, ou seja, uma perspectiva do conjunto (fig. 3.5).

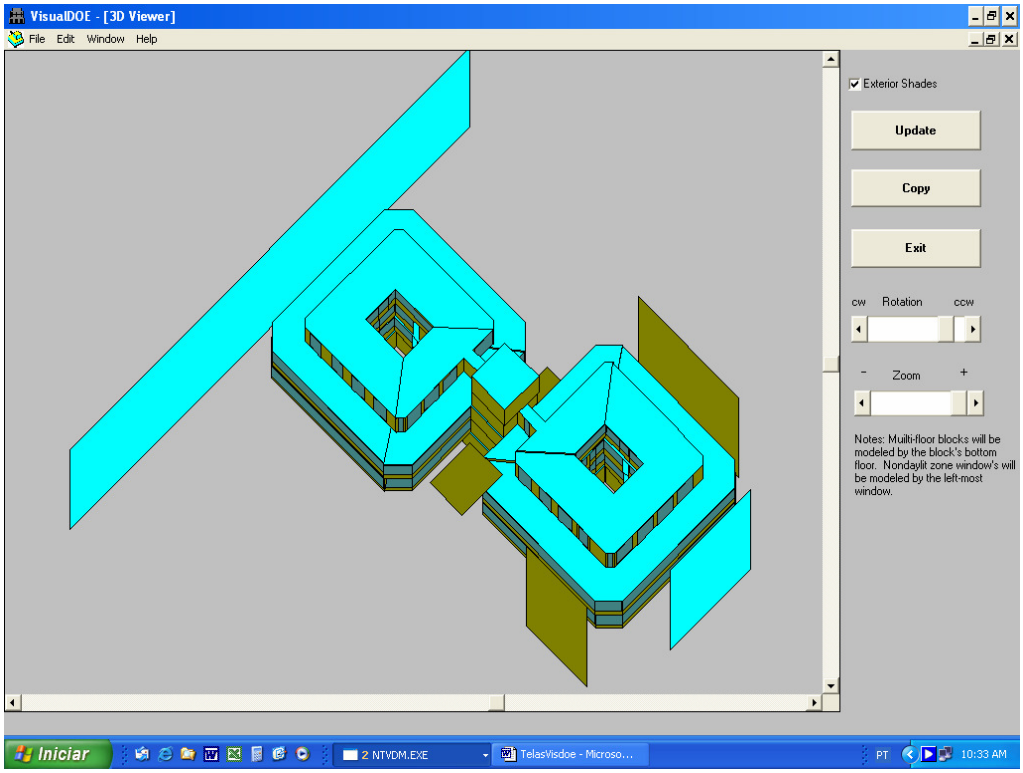

Fig. 3.5: *3D viewer* – visualização em três dimensões do edifício estudo de caso
Fonte: Programa VisualDOE

Após a criação e dimensionamento dos blocos no modelo usa-se o editor de zoneamento (*Folder Zones* fig.3.6) para estabelecer o padrão de cada zona. Dados como o nome da zona (*name*), potência em W/m² de iluminação (LPD) e de equipamentos (EPD), densidade de ocupantes em m²/pessoa (*occupant density*), se a zona é condicionada artificialmente ou não (*zone type*), ocupação típica (*occupancy*) refere-se aos expedientes ou *schedules*, se existe algum tipo de controle de iluminação como *dimmers*, por exemplo, *daylight control*, são especificados nesta etapa. Nesta fase, a área da zona é fornecida pelo programa, pois a geometria já foi criada anteriormente.

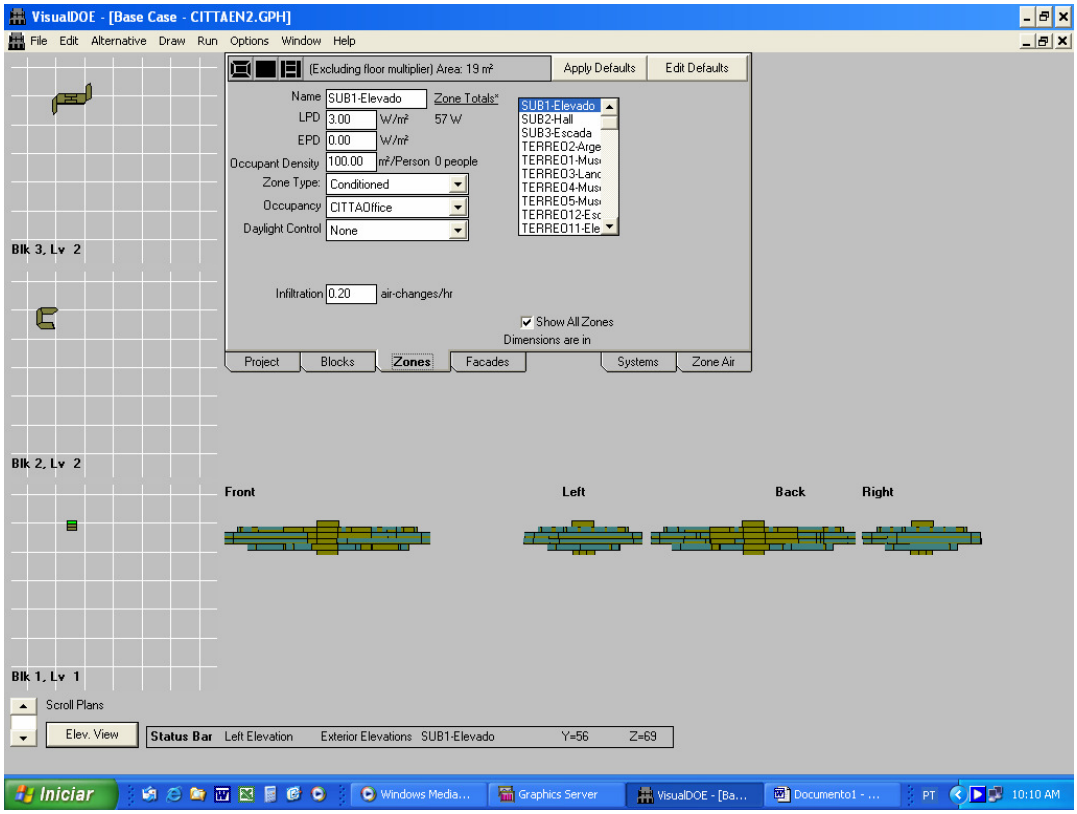

Fig. 3.6: *Folder Zones* - Editor de zoneamento
Fonte: Programa VisualDOE

Para algumas zonas a opção de abrir para o pavimento abaixo (*open do below*) deve ser selecionada, por exemplo, na área das escadas e elevadores comuns do prédio. Existe a opção de mostrar todas as zonas de todos os blocos (*show all zones*) ou só as zonas do bloco selecionado. Deve ser especificado um valor para infiltração de ar pelas portas e janelas (*infiltration*) na unidade de mudança de ar por hora. O valor *default* do programa é 0.20 que significa que a cada 5 horas todo o ar é renovado. Parâmetros iguais nas zonas podem ser definidos em uma única vez, marcando as zonas na caixa da direita para edição simultânea.

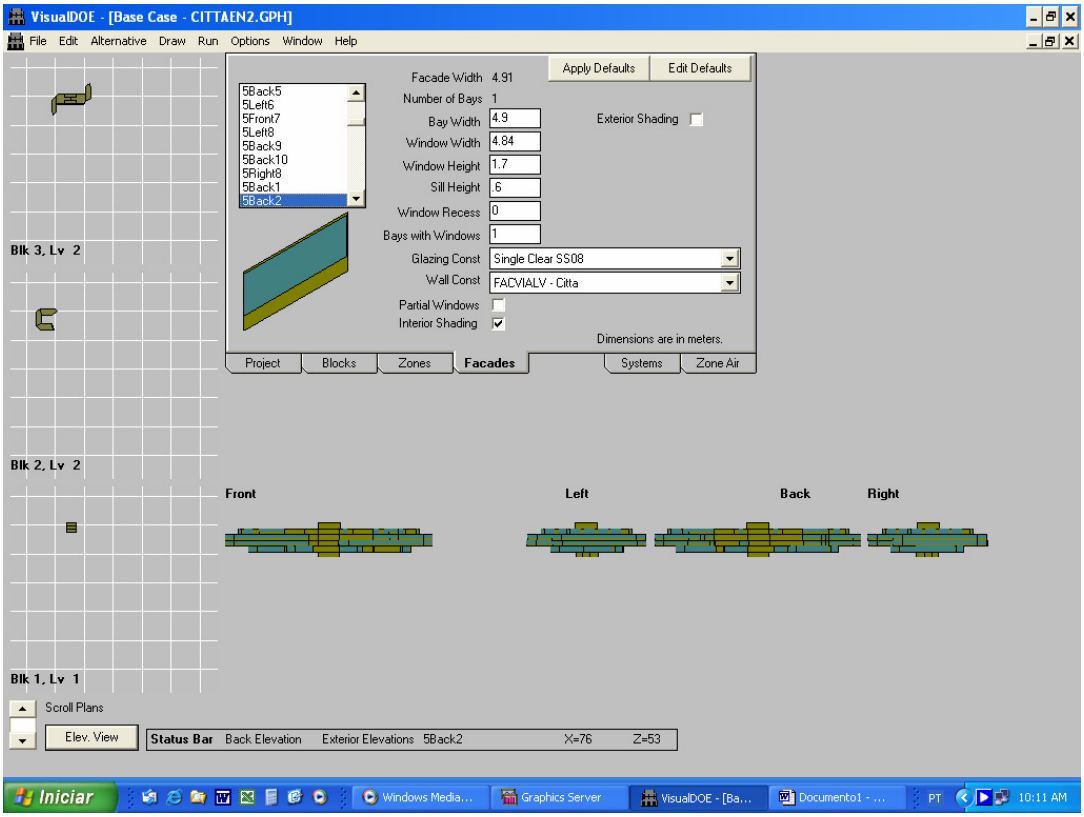

Fig. 3.7: *Folder Façade* - Editor de fachadas
Fonte: Programa VisualDOE

No editor de fachadas (fig. 3.7) as superfícies externas do perímetro das zonas são nomeadas automaticamente pelo programa, e aparecem em uma lista *drop down*, que não permite edição dos nomes por parte do usuário. Neste caso, a superfície que está sendo trabalhada é identificada no quadrado de vista superior do bloco, localizado à esquerda, pois ao selecionar determinada fachada pelo nome, este plano fica em destaque na cor vermelha. Todas as superfícies externas dos blocos aparecem nesta lista que fica posicionada no canto superior esquerdo deste editor. As propriedades das fachadas são descritas conforme o nome é selecionado, podendo ser editadas e visualizadas por um desenho em perspectiva isométrica.

A primeira propriedade da fachada é a largura do vão com janela (*bay width*) que é fornecida pelo sistema com base na geometria anteriormente estabelecida, o editor

gráfico divide a largura da fachada por este valor e coloca uma janela em cada vão (*bay*). Então, especifica-se a largura (*window width*) e a altura (*window height*) das janelas em todos os vãos, altura do parapeito (*sill height*), a espessura dos umbrais externos das janelas (*windows recess*), os vãos com janelas (*bays with windows*), as especificações do vidro (*glazing construction*) e da parede (*wall construction*).

Existe a opção de fazer uma janela parcial (*partial windows*), ou seja, com largura diferente das outras quando o vão não permite que se mantenha a mesma dimensão, e ainda, de se utilizar um fechamento interno (*interior shading*). Quando selecionada esta última opção, o modelo considera persianas internas abertas quando o ganho solar for inferior a 30btu/h-ft2, ultrapassando este valor ele fechará as persianas. Sabe-se por meio de um relatório o horário de cada mês em que ela foi considerada fechada.

Pode-se ter um sombreamento externo (*exterior shading*) feito por marquise e/ou *brise* especificando suas dimensões, apenas na área da janela, dentro deste comando. E em qualquer localização e dimensão através do *exterior shade* (fig. 3.8).

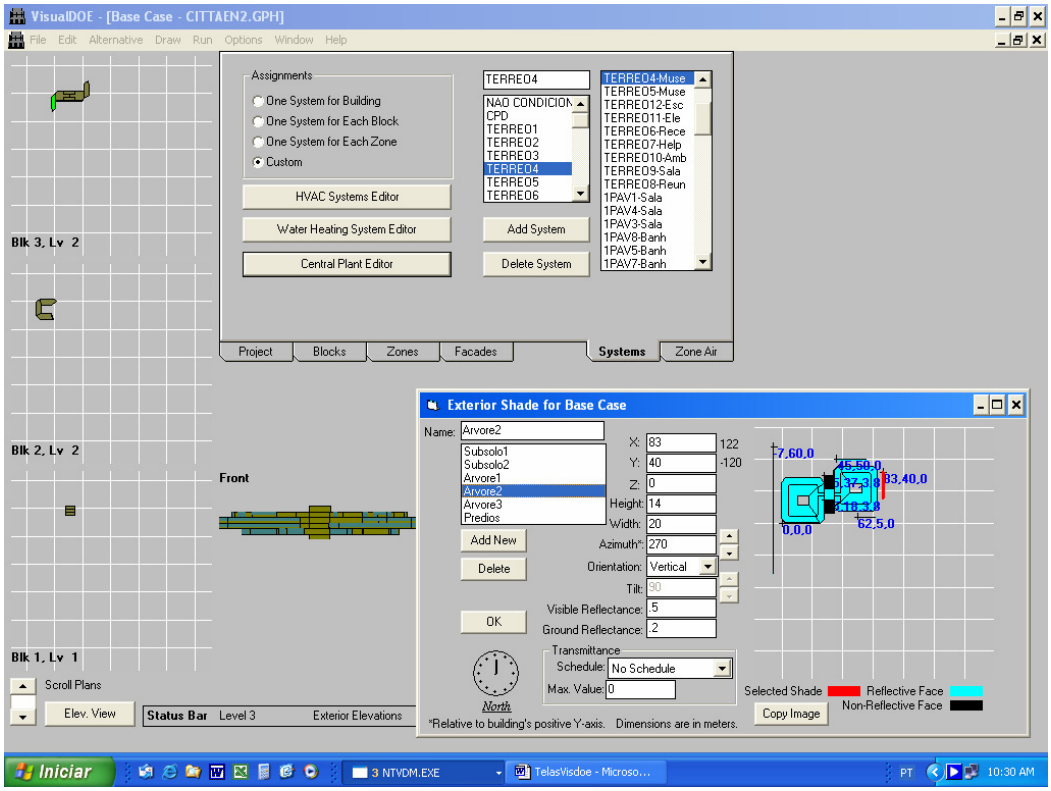

Fig. 3.8: *Exterior Shade for Base Case*
Fonte: Programa VisualDOE

No editor de fachadas do VisualDOE, o usuário pode encontrar uma certa dificuldade ao estabelecer uma correlação entre o ato de projetar tradicional da arquitetura brasileira e a forma como se estabelece a definição das janelas na fachada do objeto arquitetônico deste programa. Devido ao fato de que o programa não permite a utilização das coordenadas absolutas dos vértices das esquadrias, de modo a obter seu posicionamento preciso. É necessário verificar a largura da fachada e dividir este valor pelo número de janelas de modo a obter vãos ou trechos em que terão esquadrias posicionadas no centro destes vãos. O que em alguns casos não representa fielmente a realidade. Porém, para fins de cálculo de consumo de energia elétrica este fato não é relevante, uma vez que as dimensões e a quantidade de esquadrias na fachada estão sendo mantidas.

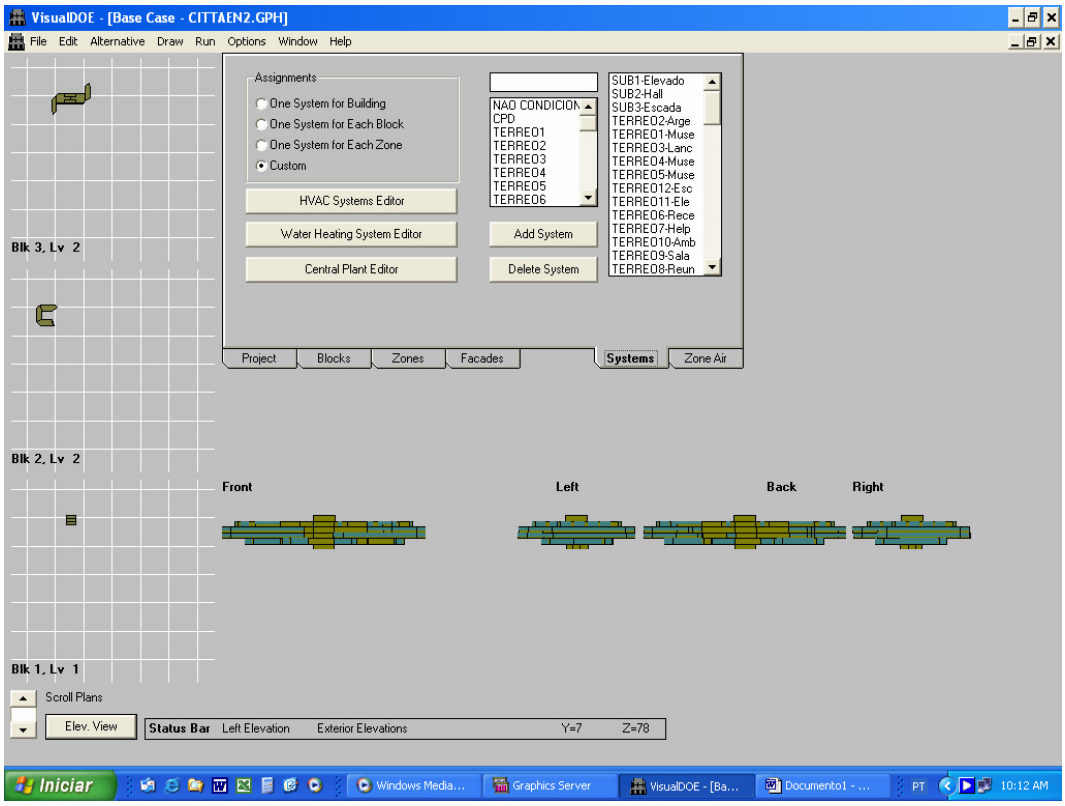

Fig. 3.9: *Folder Systems* - Editor de sistemas
Fonte: Programa VisualDOE

O editor de sistemas tem menos controles que os anteriores tornando-se relativamente um pouco mais simples sua utilização. Esse editor possui quatro opções de botões (*assignments*) do lado esquerdo superior, são eles, uma única opção de sistema de condicionamento de ar para todas as zonas do modelo (*one system for the building*), um sistema para cada bloco tendo o número final de sistemas igual ao número de blocos com todas as zonas de um mesmo bloco com o mesmo sistema (*one system for each block*), um sistema para cada zona (*one system for each zone*), e a opção customizada (*custom*) para atender situações particularizadas.

Do lado direito dessas opções existe a lista de sistemas (*systems list*), onde são definidos os nomes dos sistemas de condicionamento de ar. No caso da utilização da opção customizada e possível definir zonas não condicionadas. E mais a direita, encontra-se a lista com todas as zonas do modelo (*zones list*). Depois de definidos estes

parâmetros iniciais relaciona-se as zonas servidas ao sistema definido. Após está etapa, sempre que é selecionado um sistema as zonas servidas pôr ele fica em destaque na lista de zonas.

Abaixo da caixa de *assignments* existem mais três caixas a serem definidas, são elas, o editor de sistemas de condicionamento de ar (*HVAC Systems Editor - fig. 3.11*) relacionado diretamente a seleção de um sistema na lista anteriormente criada em *systems list*, o editor da central de água gelada (*Central Plant Editor – fig. 3.10)*, ambos editores abrem novas fichas com diagramas onde se pode especificar com mais detalhes os componentes do sistema e o editor do sistema de aquecimento de água (*Water Heating Systems Editor*).

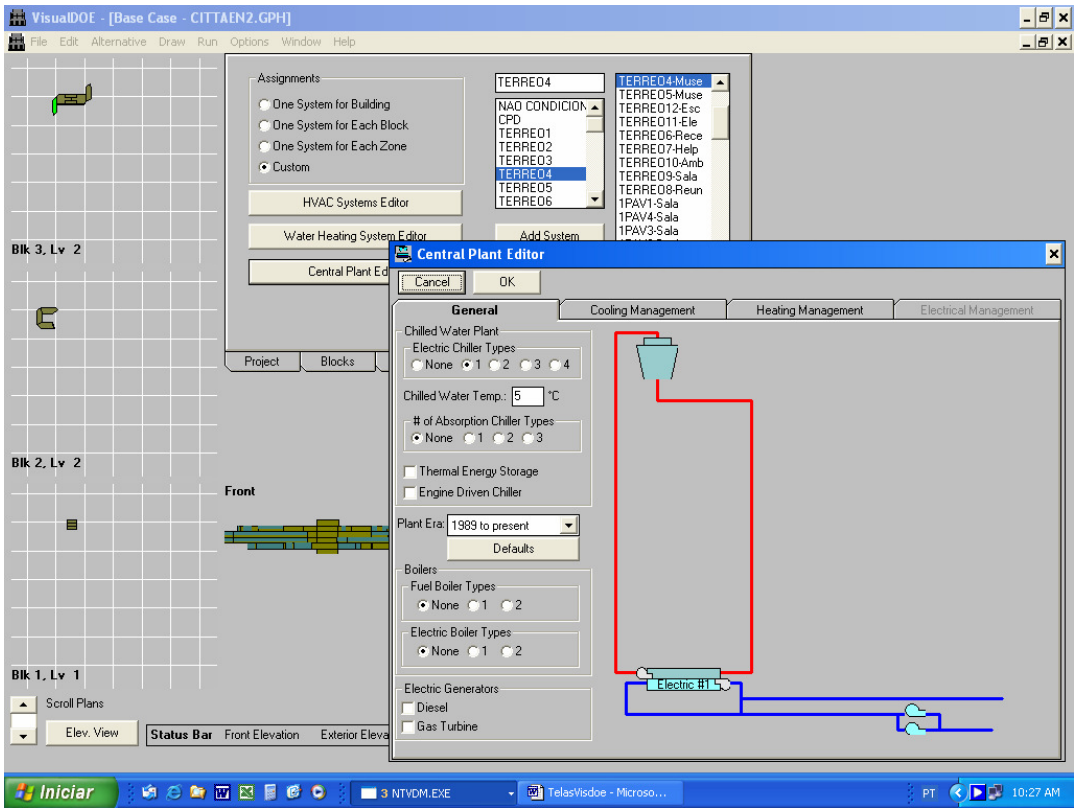

Fig. 3.10: *Central Plant Editors*
Fonte: Programa VisualDOE

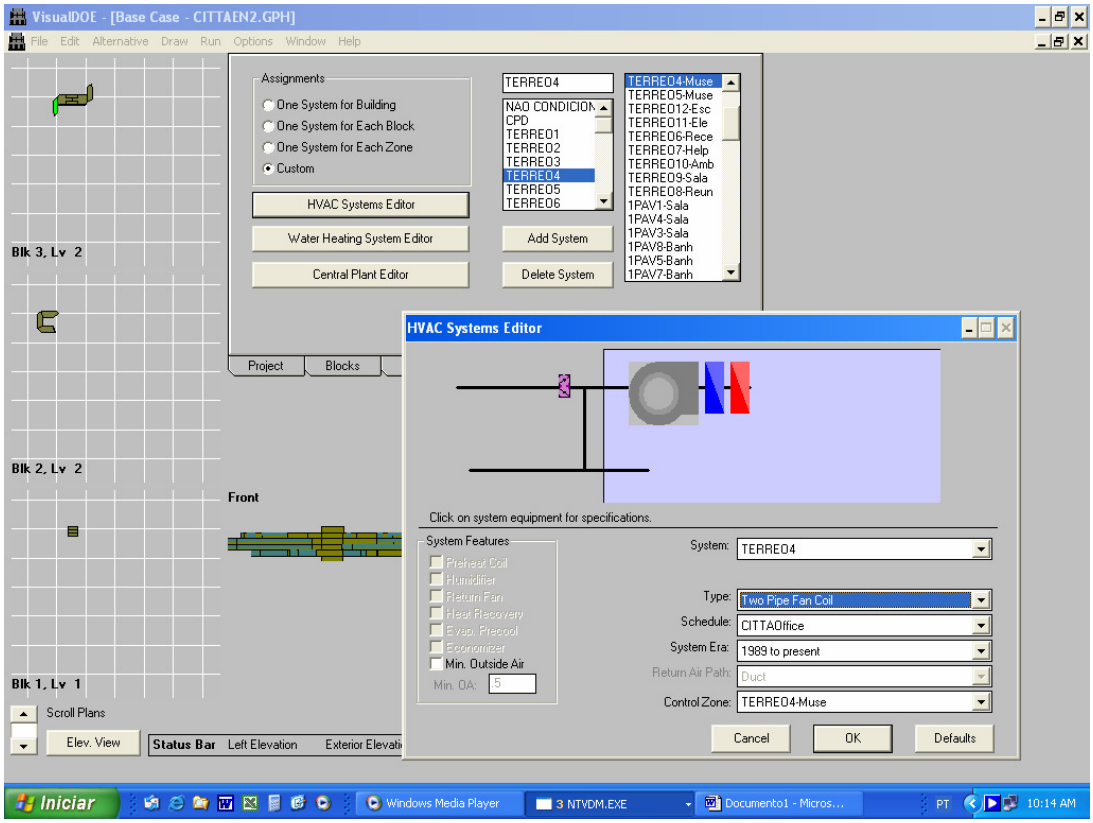

Fig. 3.11: *HVAC System and Plant Editors*
Fonte: Programa VisualDOE

O processo para escolha do sistema de condicionamento de ar oferecido pelo programa é um pouco mais complicado (*HVAC Systems Editor*), uma vez que os nomes dos aparelhos e dos sistemas são diferentes dos usados no Brasil. Permite que se detalhem todos os elementos do mesmo. É preciso entender o funcionamento do sistema. Após a seleção de uma das opções (*Type*), aparece um editor gráfico com o desenho esquemático dos componentes básicos daquele sistema. É preciso definir o *schedule* de operação, o ano em que o sistema foi implantado ou a última renovação (*System Era*), especificar como é feito o retorno do ar (*Return Air Path*) e o nome da zona de controle (*Control Zone*).

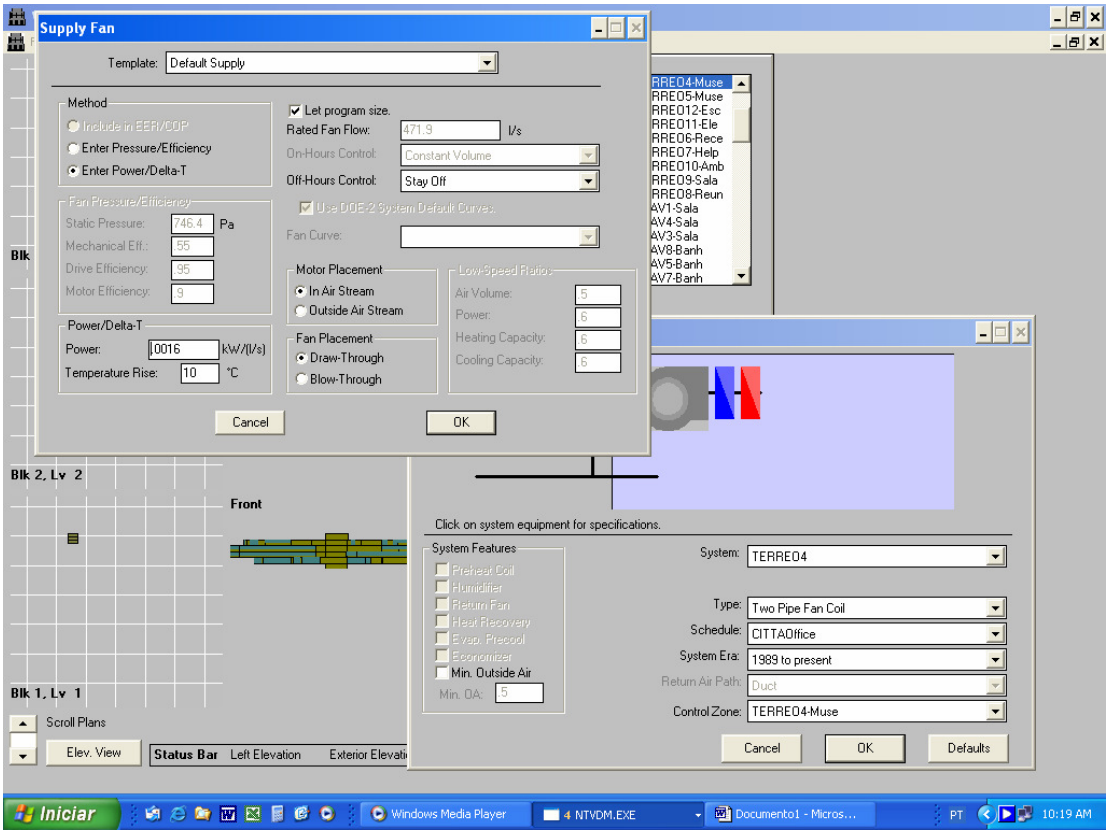

Fig. 3.12: *Supply fan*
Fonte: Programa VisualDOE

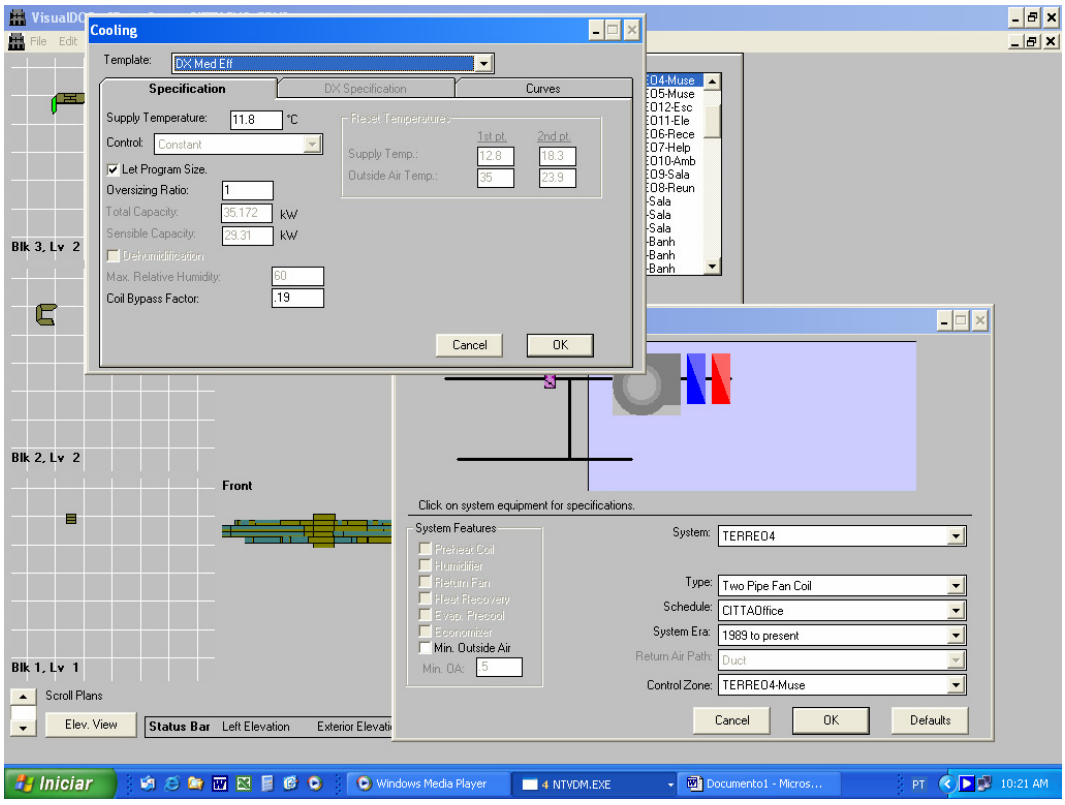

Fig. 3.13: *Cooling*
Fonte: Programa VisualDOE

Através do editor gráfico com o desenho esquemático pode-se dar um duplo *click* em cada um dos componentes básicos daquele sistema para que o editor abra o diagrama, mostrando os principais componentes do sistema, tais como, ventilador (*supply fan*), evaporador (*evaporative precooler*), refrigerador (*cooling*) e outras características opcionais como, por exemplo, umidificador, ar de retorno e economizador. Dependendo do tipo do sistema as opções oferecidas no *system features,* variam e podem ser acionadas quantas forem necessárias para definição do mesmo, quando acionada, o desenho é mostrado no diagrama. Apontando o *mouse* e clicando no desenho de um dos componentes, o programa abre uma tela que permite definir todas as características técnicas de cada elemento.

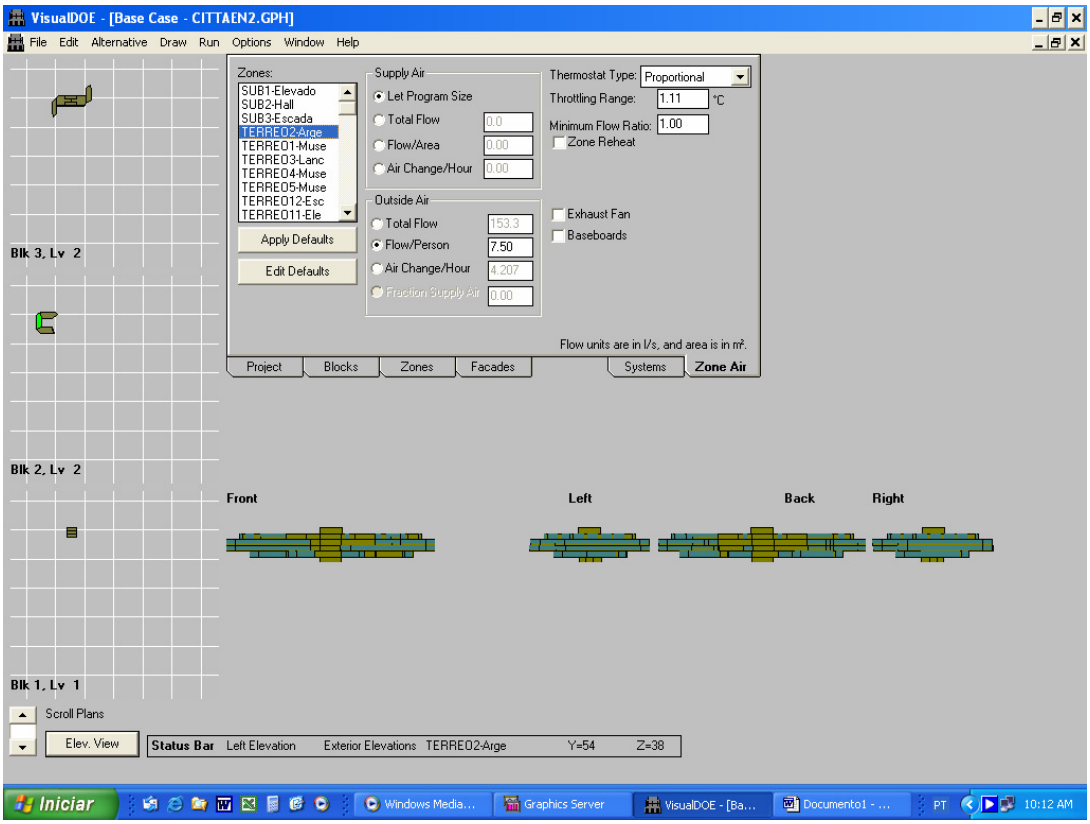

Fig. 3.14: *Folder Zone Air* - Editor de zoneamento do ar
Fonte: Programa VisualDOE

No editor *Zone Air*, as zonas anteriormente criadas no editor de sistemas aparecem numa lista à esquerda da tela, pode-se selecionar uma ou mais ao mesmo tempo. As zonas escolhidas ficam em destaque, para definir parâmetros específicos do sistema que serve aquelas zonas. São definidas as informações como tipo do termostato (*Thermostat Type*), ar fornecido (*Supply Air*), taxa de renovação do ar exterior (*Outside Air*), ventilador de exaustão (*Exhaust Fan*) entre outros. Este editor permite que se defina um padrão mais utilizado nas propriedades do zoneamento de ar através dos botões *Apply Defaults* e *Edit Defaults*.

A seguir são apresentadas nas figuras 3-15 a 3-21, as telas dos módulos secundários, ou seja, bibliotecas de perfis de utilização, de arquivos climáticos, de dados construtivos e descritas suas principais características.

No módulo *Schedule Maker* programam-se padrões de operação do edifício e associa-se com os tipos de ocupação. Defini-se como é a utilização do prédio nos feriados, dias de semana e fins de semana para cada item conforme a biblioteca de ocupação. Está organizado em quatro fichas nomeadas de *occupancies, schedules, day schedules* e *holidays*.

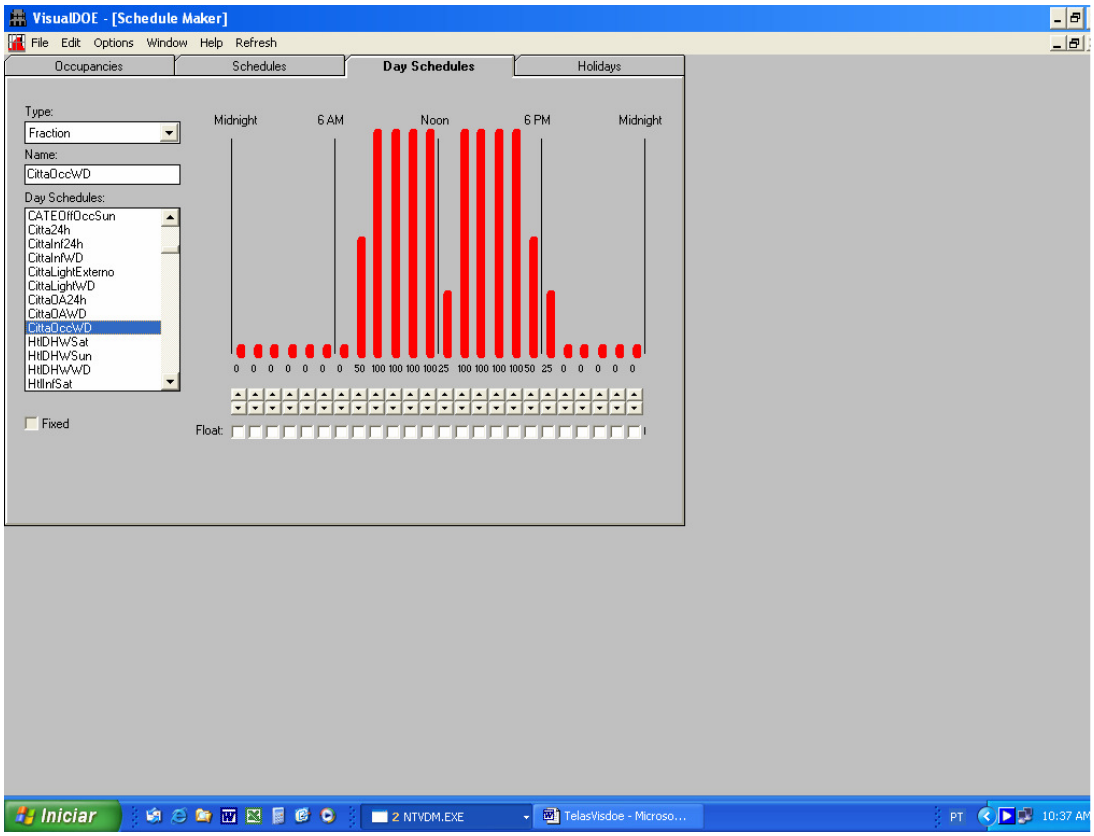

Fig. 3.15: *Day Schedules Folder* - Biblioteca de perfis de utilização
Fonte: Programa VisualDOE

O editor (*Day Schedules Folder* fig. 3.15) é utilizado para definir o expediente nos dias durante a semana, disponibilizando às 24 horas, definido por meio de um gráfico que permite estabelecer informações horárias. Pode-se criar mais de uma escala de utilização de acordo com o funcionamento da empresa, lembrando que o nome deve estar sempre associado ao tipo de utilização. Exemplificando, o nome occwdcitta significa: occ- ocupação, wd- dias da semana, citta- prédio em estudo, ou seja, expediente de ocupação das pessoas nos dias úteis da semana.

Está disponível em três unidades, são elas, fração (*fraction*), ligado e desligado (*on/off*) e temperatura (*temperature*). As duas primeiras opções dão condições para que a caixa *float* possa ser ligada, significando que o programa calculará o valor horário baseado em outras informações. Por exemplo, pode ser utilizado no sistema de

condicionamento de ar para o cálculo de renovação de ar por hora em função de algum critério estabelecido. Permite adicionar e apagar *Schedules.*

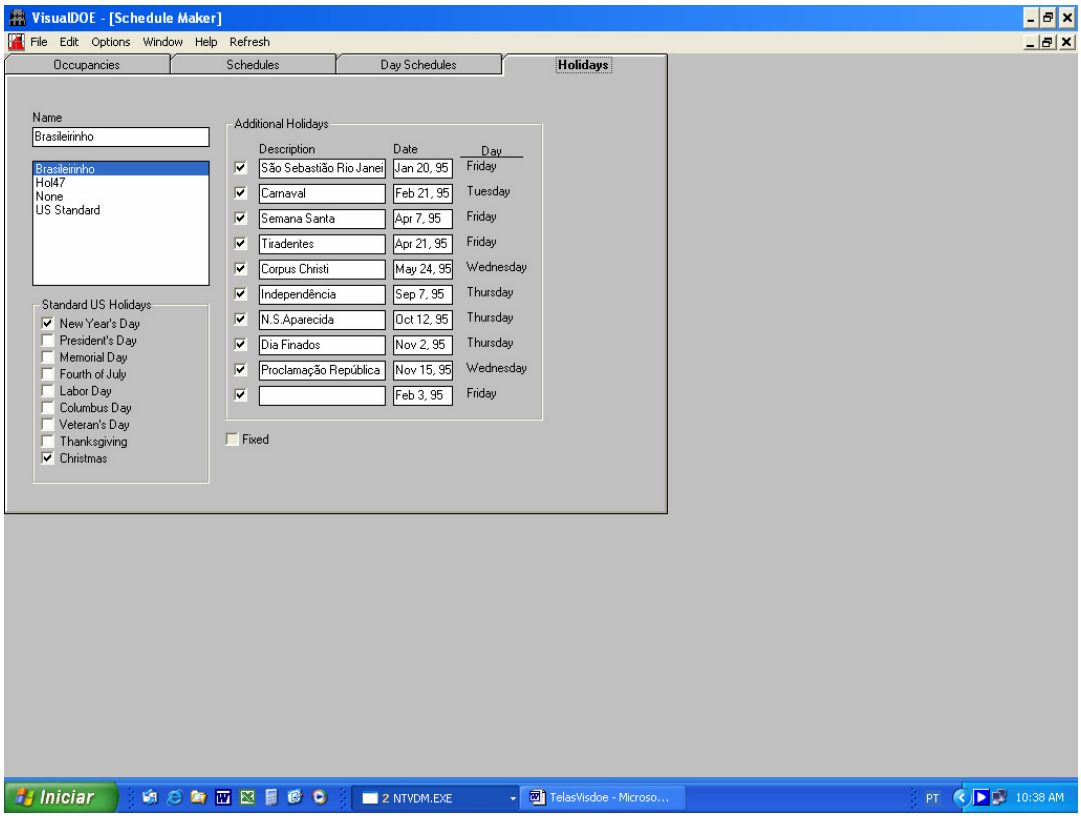

Fig. 3.16: *Holidays Folder* - Biblioteca de perfis de utilização
Fonte: Programa VisualDOE

O editor de feriados (*holidays folder* fig. 3.16) permite que se crie, modifique ou apague feriados existentes ao longo do ano, é preciso definir a data completa com dia, mês e ano. É importante para a simulação do modelo, pois a utilização do edifício nestes dias ocorre de forma diferente do que em dias úteis.

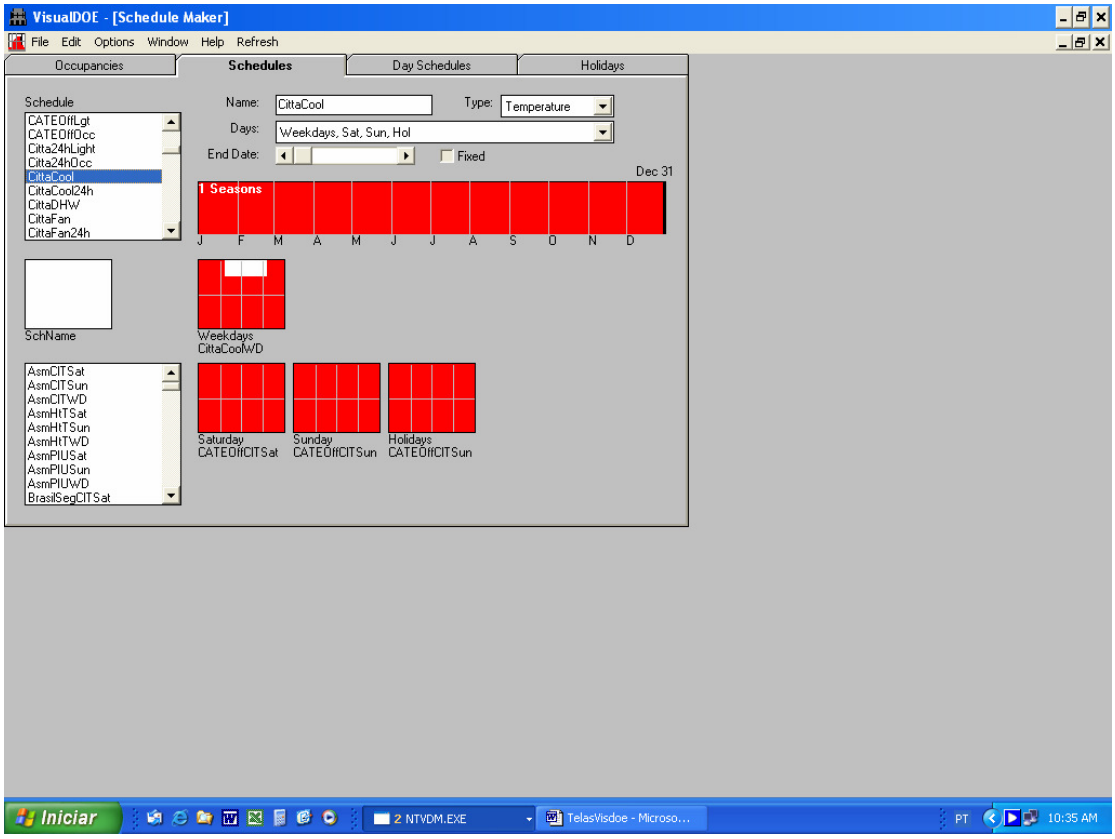

Fig. 3.17: *Schedules Folder* - Biblioteca de perfis de utilização
Fonte: Programa VisualDOE

O *Schedules Folder* (fig. 3.17) é um grupo de programações diárias (d*ay schedules*) que descreve a programação do ano inteiro com relação a algumas atividades desenvolvidas no edifício, tais como, a iluminação, o número de pessoas e equipamentos que estão em funcionamento. Suas propriedades são nome, tipo e número de estações ou temporadas que possuem as mesmas características.

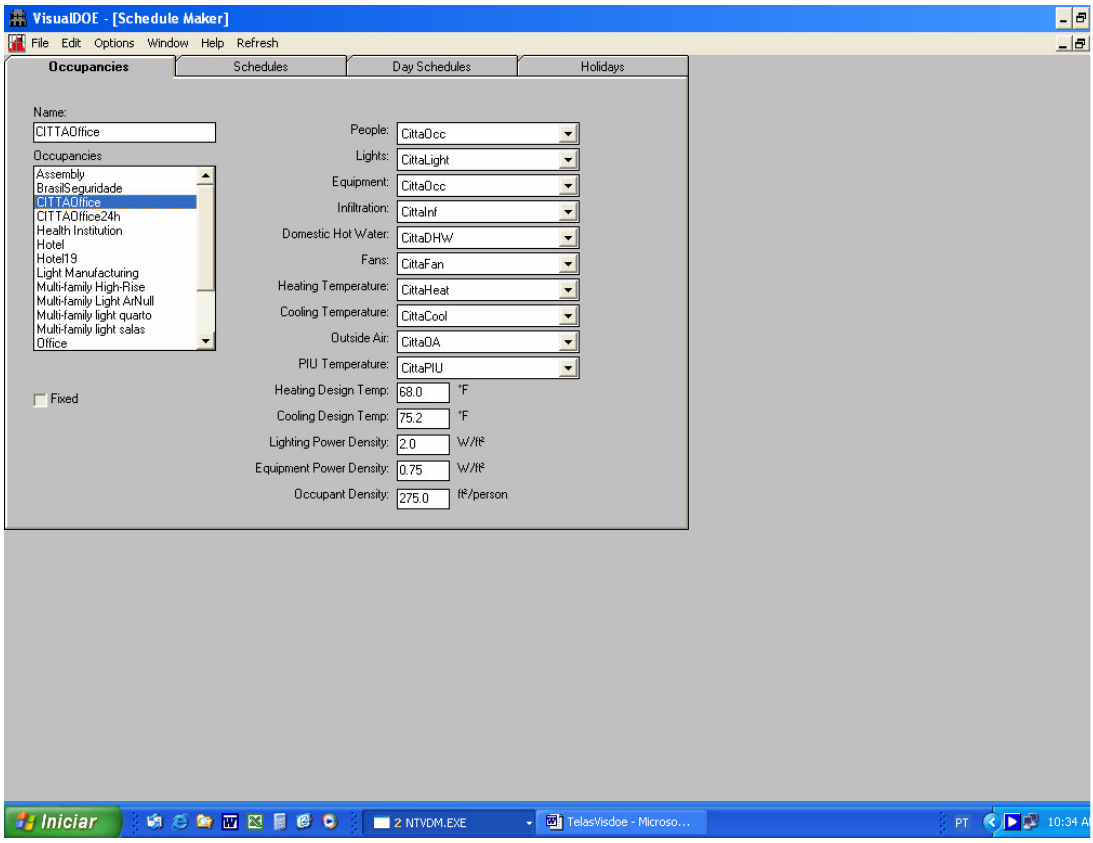

Fig. 3.18: *Occupancies Folder* - Biblioteca de perfis de utilização

Fonte: Programa VisualDOE

A ocupação (fig. 3.18) engloba todos os padrões criados para representar o edifício no modelo utilizando os horários ou *schedules* para pessoas (*people*), luz (*light*), equipamentos (*equipment*), infiltação de ar (*infiltration*) (parâmetro este relacionado com o funcionamento do ar condicionado), água quente para uso nos banheiros e cozinhas (*domestic hot water*), ventilação (*fans*), temperaturas limites para ligar e desligar o aquecimento ou condicionamento de ar (*heating, cooling temperature*), temperatura de água gelada do *chiller* (*PIU Temperature – Powered Induction Unit System*) e outros. Mostra todas as ocupações que existem na biblioteca. Cada ocupação tem um nome associado que aparece no editor gráfico e pode ser definido pelo usuário. Ao escolher uma ocupação suas características podem ser verificadas e editadas.

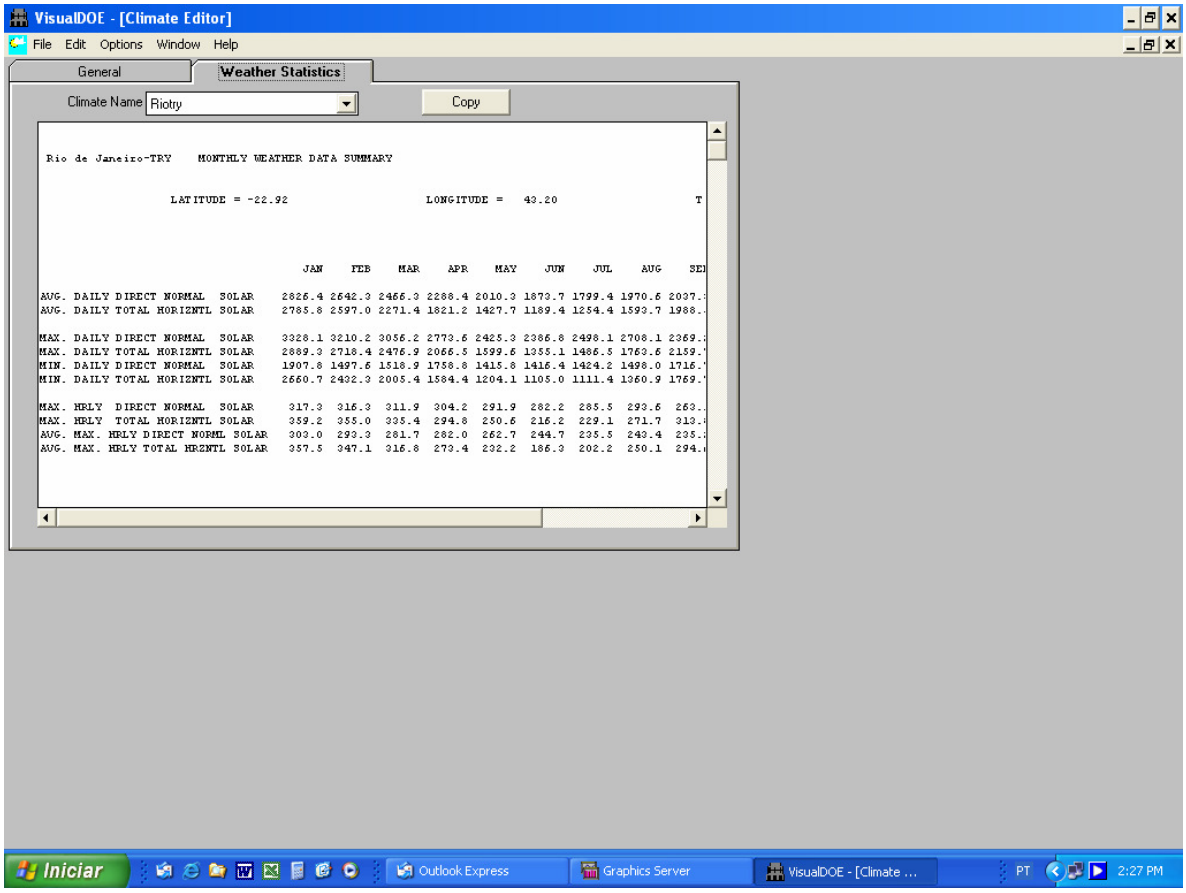
VisualDOE - [Climate Editor]
File Edit Options Window Help
General
Weather Statistics
Climate Name Riotry
Copy
Rio de Janeiro-TRY MONTHLY WEATHER DATA SUMMARY
LATITUDE = -22.92 LONGITUDE = 43.20
JAN FEB MAR APR MAY JUN JUL AUG
AVG. DAILY DIRECT NORMAL SOLAR 2826.4 2642.3 2466.3 2288.4 2010.3 1873.7 1799.4 1970.6
AVG. DAILY TOTAL HORIZNTL SOLAR 2785.8 2597.0 2271.4 1821.2 1427.7 1189.4 1254.4 1593.7
MAX. DAILY DIRECT NORMAL SOLAR 3328.1 3210.2 3056.2 2773.6 2425.3 2386.8 2498.1 2708.1
MAX. DAILY TOTAL HORIZNTL SOLAR 2889.3 2718.4 2476.9 2066.5 1599.6 1355.1 1486.5 1763.6
MIN. DAILY DIRECT NORMAL SOLAR 1907.8 1497.6 1518.9 1758.8 1415.8 1416.4 1424.2 1498.0
MIN. DAILY TOTAL HORIZNTL SOLAR 2660.7 2432.3 2005.4 1584.4 1204.1 1105.0 1111.4 1360.9
MAX. HRLY DIRECT NORMAL SOLAR 317.3 316.3 311.9 304.2 291.9 282.2 285.5 293.6
MAX. HRLY TOTAL HORIZNTL SOLAR 359.2 355.0 335.4 294.8 250.6 216.2 229.1 271.7
AVG. MAX. HRLY DIRECT NORML SOLAR 303.0 293.3 281.7 282.0 262.7 244.7 235.5 243.4
AVG. MAX. HRLY TOTAL HRZNTL SOLAR 357.5 347.1 316.8 273.4 232.2 186.3 202.2 250.1
Iniciar
Outlook Express
Graphics Server
VisualDOE - [Climate ...
PT
2:27 PM

Fig. 3.19: *Climate Editor* - Biblioteca de arquivos climáticos
Fonte: Programa VisualDOE

O editor de clima (fig. 3.19) é usado para adicionar, excluir ou modificar a lista de climas existentes na biblioteca do programa. Cada clima selecionado tem associado a ele um arquivo climático indicando as condições de tempo, tais como, calor ou frio, que serão usadas pelos equipamentos do sistema de condicionamento de ar. Quando um clima é selecionado suas propriedades são mostradas abaixo da lista de escolha.

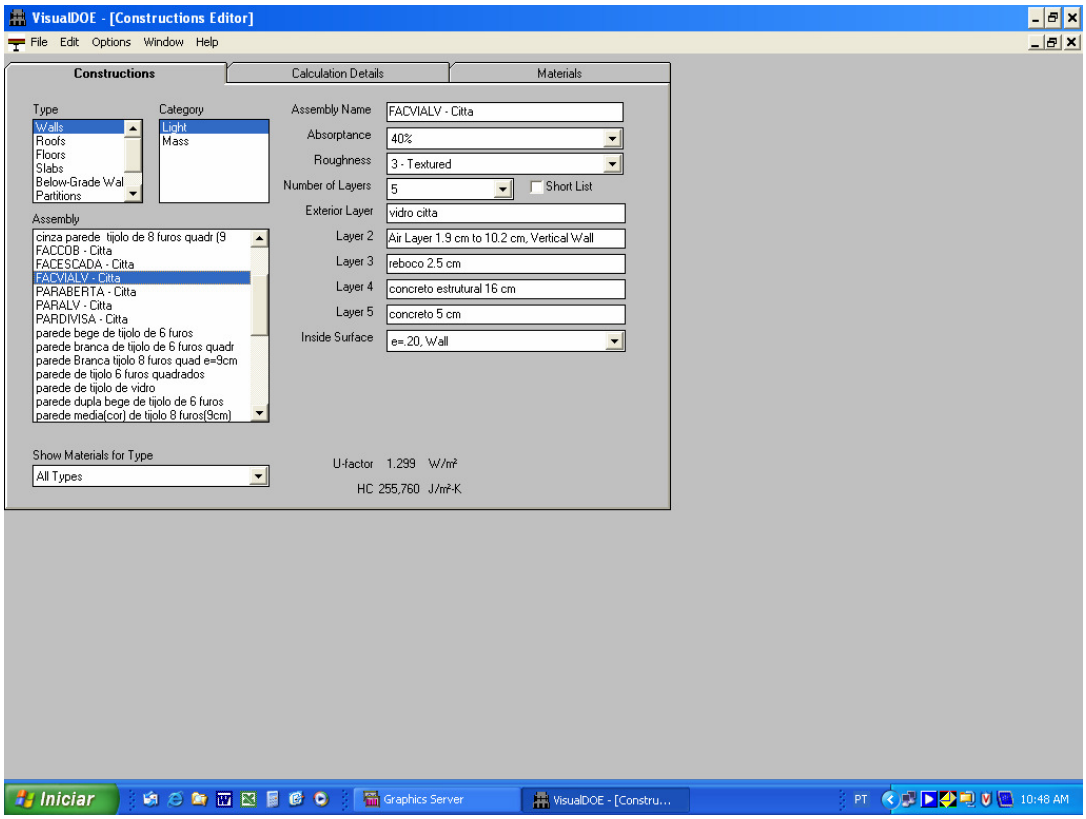

Fig. 3.20: *Constructions Folder*- Biblioteca de dados construtivos
Fonte: Programa VisualDOE

A edição de materiais construtivos é feita no *constructions builder* (fig. 3.20). Este módulo permite utilizar, modificar e criar materiais de construção a partir de uma lista preexistente disponível na biblioteca de dados construtivos. É organizado em três *folders* que são: *constructions, calculation details e materials.*

Na biblioteca de dados construtivos (*consturctions*) existem três listas interrelacionadas à esquerda do folder, indicando o tipo (*type*) onde o material será empregado, se é parede, piso, teto e outros; a categoria, se é leve ou denso; e o nome do material (*assembly name*), que deve ter uma descrição adequada para que se possa fazer a escolha a partir dessa lista. Tem associado a ele algumas características mostradas nas caixas à direita. Mais detalhes sobre o material selecionado podem ser vistos no *folder calculation details*.

A absortividade (*absorptance*) da superfície exterior é definida em porcentagem; é indicada a porosidade (*roughness*) do acabamento externo, se é texturizado, liso ou outros; o número de camadas agrupadas (*number of layers*) que caracterizam o material e sua espessura que pode chegar até nove, é indicado de fora para dentro de forma que a primeira *layer* é o material da fachada; e as condições de refletância da superfície interna (*inside surface*). Este último item deve ser escolhido corretamente uma vez que ele afeta a resistência do material de construção a penetração do calor (*U-factor*).

O editor de materiais é usado para definir o material que será utilizado no *folder construction.* A primeira lista define o tipo de material, por exemplo, se é exterior ou interior, entre outros. Eles são tratados como camadas, já que é solicitado sua espessura (*thickness*) e valores para condutividade (*conductivity*), densidade (*density*) e calor específico (*specific heat*).

Com relação às características técnicas dos vidros das esquadrias o programa já possui uma extensa biblioteca, mas através do *Fenestrations Editor* (fig. 3.21) acessível selecionando opção *Window* pelo menu suspenso, é possível acrescentar novos tipos de vidros, modificar os nomes que aparecem nas listas e verificar as características técnicas dos materiais existentes, de forma a poder escolher a opção adequada para cada projeto.

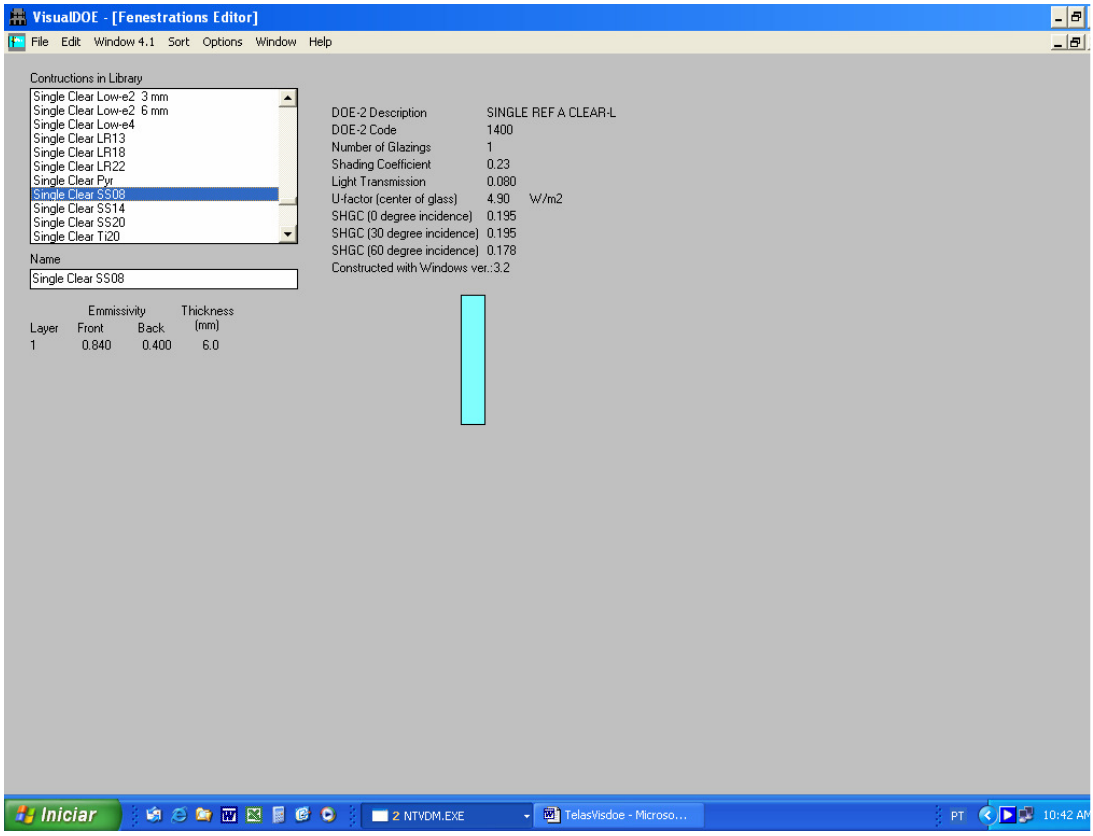

Fig. 3.21: *Fenestrations Editor* – Editor de vidros
Fonte: Programa VisualDOE

O editor de vidros tem uma lista de materiais, todos vidros, na biblioteca construtiva, localizada na parte esquerda superior da janela. Quando se seleciona uma opção desta lista, informações detalhadas aparecem na tela incluindo um pequeno desenho do vidro da janela. Não é possível editar nenhum dos dados com exceção do nome que a parece na *list box*. No arquivo *W4Lib.dat* é possível ver os dados com mais detalhes.

As informações mostradas sobre determinado material selecionado na lista são: o nome (*name*); DOE-2 *Descripition*, que é parte do arquivo utilizado para rodar o programa e aparece no relatório final; DOE-2 *Code*, é um código numérico usado pelo DOE-2 para identificação do material utilizado; número de camadas (*Number of Glazings*) existentes no vidro, pôr exemplo vidro duplo é composto de duas camadas;

coeficiente de sombreamento (*Shading Coefficient*[26]) é definido como a razão entre o fator solar (transmissão direta + parcela da energia absorvida que é retransmitida para o interior do ambiente) e a mesma grandeza correspondente ao vidro padrão, definido como vidro 3mm , incolor , não sombreado; transmissão de luz (*Light Transmission*) considerada a fração da radiação solar do espectro visível que passa pelo vidro para uma incidência normal, perpendicular ao plano da janela; U-*factor* é a transmissão de calor através do vidro calculado no centro do mesmo.

E ainda, coeficiente de ganho solar (*Solar Heat Gain Coefficient - SHGC*) é uma fração do total de radiação solar que passa pelo vidro, considera três ângulos de incidência, são eles, 30, 60 e 90 graus; emissividade (*Emmissivity*) informação fornecida para cada camada de vidro em suas faces interna e externa; espessura (*Tickness*) de cada camada de vidro; *Gap Tickness* é a espessura do espaço entre as camadas de vidros e *Gap Gas* é o tipo de gás usado entre cada camada de vidro, pode ser ar ou qualquer outro gás usado para melhorar o desempenho térmico da janela. A maioria desses dados devem ser fornecidos pelo fabricante do vidro para que se possa utilizar adequadamente este editor.

Para outros consumos de energia elétrica, como pôr exemplo os elevadores, utiliza-se *Miscellaneus Energy Use for Base Case* acessível pelo menu suspenso *Edit*. Embora os elevadores tenham um consumo elevado de energia este assunto é tratado de forma relativamente simples pelo programa, bastando informar o consumo em kw, o horário de utilização (*Schedule*) e o tipo de energia (*Type*). Usa-se também o

[26] Para viabilizar a comparação entre diferentes tipos de envidraçamento e sua combinação com diferentes tipos de proteção (*brise* externo, cortinas internas, etc) a ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigeration and Air - Conditioning* introduziu o conceito de Coeficiente de Sombreamento (CS). Para o cálculo de CS é necessário considerar a área da janela que permanece sombreada e aquela que é diretamente exposta à radiação solar. Dessa forma, o CS varia em função da orientação da fachada, da latitude e hora do dia.

Miscellaneus Energy para iluminação externa (*Exterior Lights*) bastando informar a potência em kw e o expediente de utilização (*Schedule*) dessas lâmpadas.

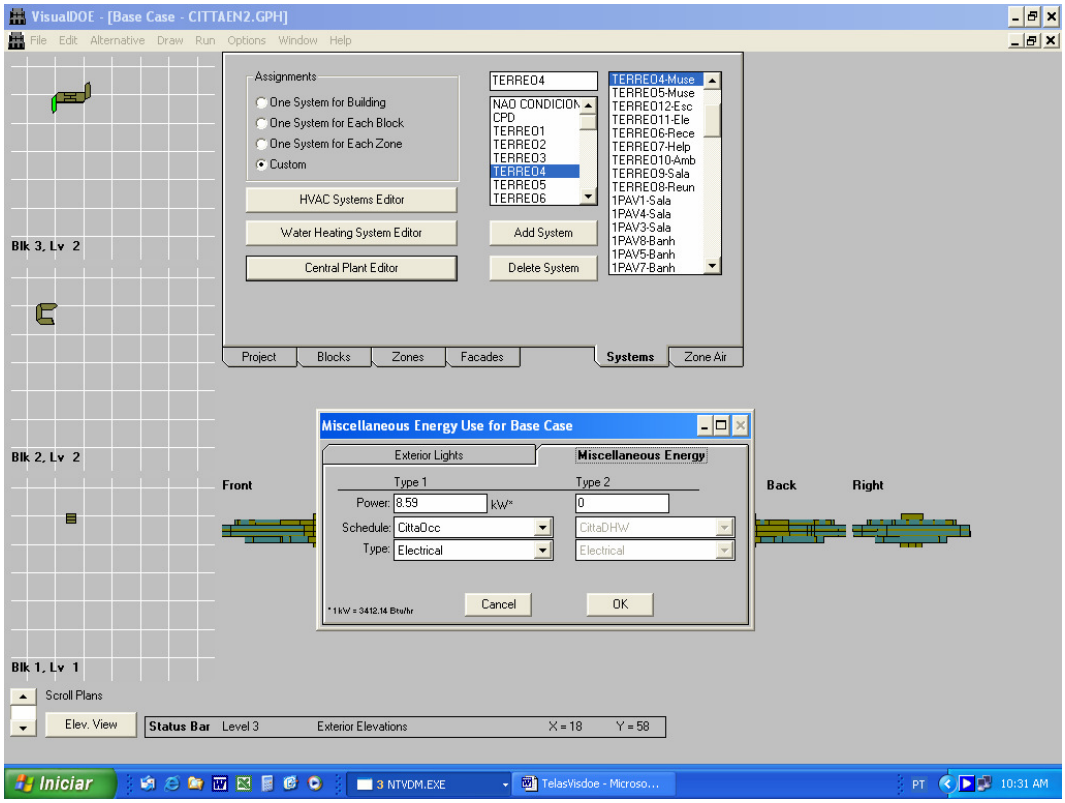

Fig. 3.22: *Miscellaneus Energy Use for Base Case*
Fonte: Programa VisualDOE

Por fim, pode-se dizer que o editor gráfico do programa é uma poderosa ferramenta para se construir o modelo visando sua simulação energética. Objetivando a utilização deste editor por usuários que não tenham conhecimento prévio do programa, é que foi desenvolvido este último item do corrente capítulo. Visto que, o manual do programa não informa sobre todos os seus itens. Pelo fato do manual estar em inglês, a tradução de certos termos técnicos para o português, também dificulta sua utilização.

Como pode ser visto é necessário o conhecimento de princípios energéticos e conceitos termodinâmicos básicos para correta utilização do programa. O domínio de técnicas de modelagem e a compreensão do funcionamento do *software* são de

fundamental importância, para obter-se um resultado mais preciso num período de tempo aceitável.

5 CAPÍTULO 4 ESTUDO DE CASO

O quarto capítulo aprofunda a pesquisa e apresenta os resultados, analisa o prédio escolhido descrevendo a sua concepção arquitetônica, orientação, ocupação e infra-estrutura operacional, com estudo das instalações físicas, para avaliar o potencial de economia de energia elétrica e estabelecer parâmetros do que seria um prédio eficiente em termos de consumo de energia elétrica. Expõe como foi feita a inserção dos dados no modelo e as dificuldades encontradas na utilização do *software*. Realiza um diagnóstico completo do edifício comercial estudo de caso deste trabalho.

5.1 DESCRIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO PRÉDIO EM ESTUDO

O prédio em análise localiza-se no condomínio comercial Città América, na Av. das Américas número, 700 bloco 4, Barra da Tijuca, Zona Oeste do Município do Rio de Janeiro, na latitude 22°50`S, 43°30`clima tropical, com temperaturas médias variando de 21,1 °C a 27,3 °C (figura 4.2). A fachada frontal (voltada para Avenida das Américas) tem a orientação de 5° em relação ao norte geográfico no sentido leste, correspondendo ao azimute de 175°. O edifício situa-se na Zona Bioclimática 8, o que caracteriza que a inércia térmica do envelope construtivo apresenta participação significativa no desempenho térmico de edificações nesta zona.

> É uma edificação de pequeno porte com climatização artificial permanente. Sua construção concluída em 1999 utiliza nas fachadas vidros laminados refletidos na cor verde, sem proteção solar externa, proporcionada por elemento construtivo (*brises* ou varandas). Há no interior de cada bloco da edificação um átrio central descoberto onde se localiza uma das escadas (figura 4.5).

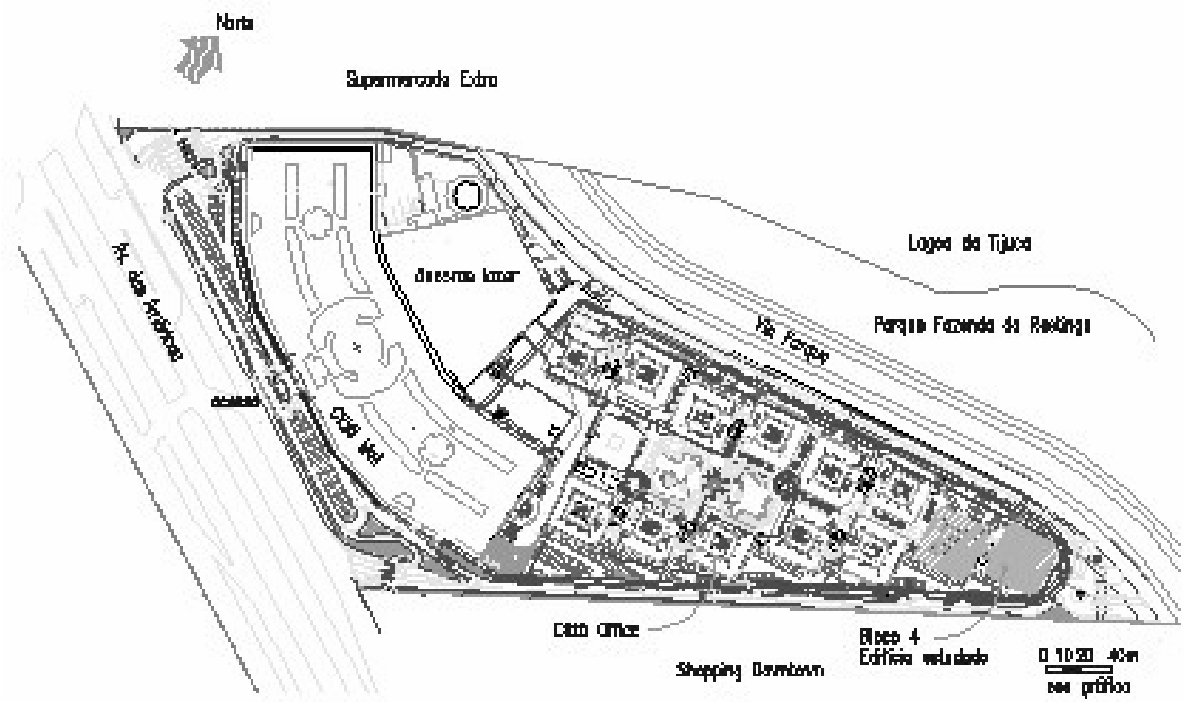

Fig. 4.1: Implantação da edificação no lote
Fonte: Arquivos cedidos pela manutenção do condomínio e editados pela pesquisadora

O Città América caracteriza-se como um complexo de negócios, compras, entretenimento e serviços. É composto por um centro empresarial, o Città Office e um centro de compras e lazer, o Città Mall. Encontra-se posicionado entre o Shopping Downtown e o Supermercado Extra, acesso principal voltado para a Avenida das Américas e fundos para a Lagoa da Tijuca (figuras 4.1 e 4.2). O centro empresarial e o shopping center têm em comum o estacionamento e o sistema de ar condicionado, que utiliza equipamentos, tais como, bombas, *chillers* e tanque de água gelada, e dividem os custos de segurança e condomínio, entre outros.

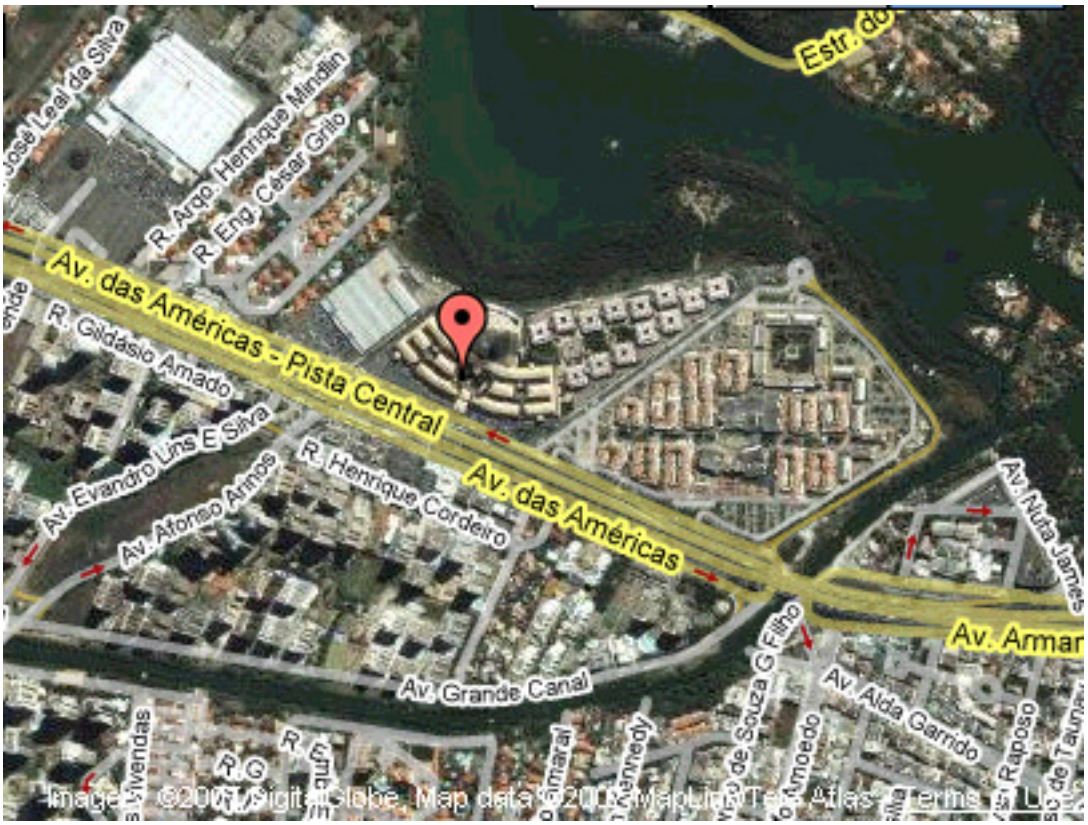

Fig. 4.2: Localização da edificação na malha urbana
Fonte: maplink.uol.com.br

O Città Office apresenta um estilo *high tech* (figura 4.3). O que vem ao encontro da filosofia dos empreendedores uma vez que as edificações são consideradas inteligentes. Plasticamente adotou-se um estilo que demonstrasse atualidade e vanguarda ao empreendimento. O conceito para o projeto de arquitetura do centro empresarial apresenta flexibilidade interna de *layout*. Toda a estrutura do prédio foi desenvolvida para que permitisse a arrumação de uso dos espaços, praticamente não causando interferência (pilares e *shafs*) em andares corridos.

Fig. 4.3: Vista externa das fachadas - bloco 4, Citta Office
Fonte: Arquivos cedidos pela manutenção do condomínio e editados pela pesquisadora

O gabarito para a área do complexo é de dois pavimentos mais a cobertura, resultando em uma altura útil de piso a teto, pé direito, de 3.50m (pavimento tipo) e com altura total da edificação: 15.30m (figura 4.4). A tipologia edificada está diretamente relacionada ao conjunto de leis que rege a ocupação do bairro. Aparentemente houve critério bioclimático com relação à orientação do edifício, embora objetivos comerciais e de aproveitamento de terreno tenham sido considerados prioritários para que os incorporadores viabilizassem o investimento.

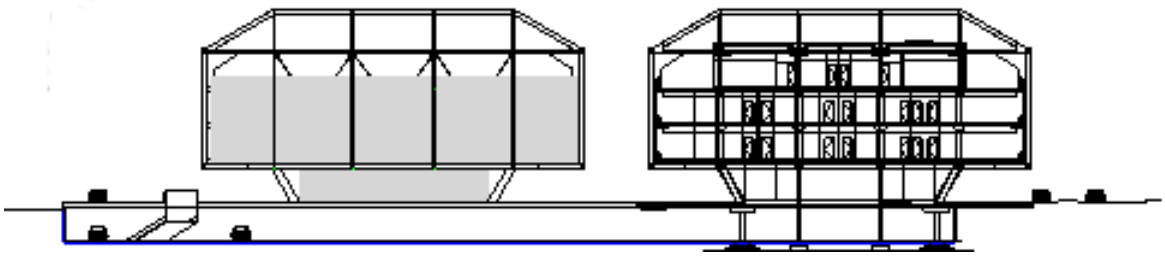

Fig. 4.4: Fachada e corte do bloco E – Citta Office
Fonte: Arquivos cedidos pela manutenção do condomínio e editados pela pesquisadora

A responsabilidade térmica foi considerada em parte, ou seja, as diretrizes projetuais priorizaram os princípios de conforto ambiental dentro do contexto pretendido. É na implantação do edifício no terreno que devem ser consideradas as interações do prédio com os ventos locais e insolação, de modo que a volumetria com

suas superfícies expostas, responda de forma otimizada a capacidade de retenção da radiação solar.

A planta proposta é quadrangular com chanfros nas quinas, apresenta número variável de salas-tipo por andar[27], prisma quadrangular de iluminação e ventilação interno na área comum do prédio, onde se encontram as circulações e escadas externas, um para cada bloco. A caixa de ligação entre os blocos A e B possui os três elevadores e a escada enclausurada comuns aos dois blocos (figura 4.5). Cobertura com tratamento diferenciado dos andares tipo, área menor e fachadas em alvenaria com esquadrias, recuadas com relação ao pano de vidro dos andares inferiores, fato que gerou um grande terraço descoberto utilizado como varanda. O perímetro das fachadas neste pavimento possui trechos em vidro, intercalados com alvenaria pintada na cor ocre, bem como, a superfície interna dos parapeitos também pintados nesta mesma cor.

Como foi dito, as fachadas são compostas em vidro laminado refletido verde sem proteção solar externa, que permitem técnicas de controle da insolação por mecanismos internos, como as persianas existentes na grande maioria das esquadrias. O edifício em estudo encontra-se parcialmente sombreado por edifícios vizinhos, apenas em uma das fachadas, e possui pequenos trechos de algumas de suas fachadas sombreados por árvores. As esquadrias são na maioria fixas, algumas abrem para fins de manutenção, o que impede a abertura dos vãos de janela na utilização do edifício. Os prédios do centro empresarial recebem sol em todas as fachadas em todas as estações, sendo que algumas das fachadas se encontram parcialmente sombreadas variando de acordo com o horário do dia (figura 4.5).

[27] Este número varia em função da empresa que adquiriu o espaço, já que o edifício possui flexibilidade de layout admitindo desde salas com 30m2 utilizadas geralmente por pequenos consultórios, até um andar corrido.

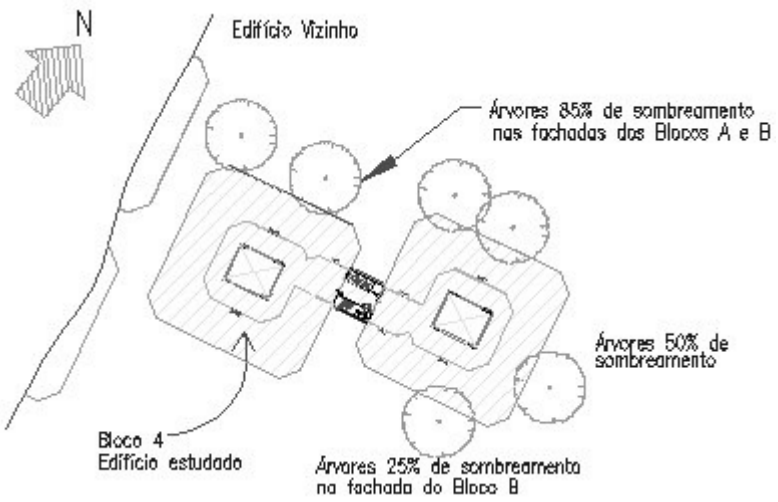

Fig. 4.5: Sombreamento por elementos externos a edificação
Fonte: Arquivos cedidos pela manutenção do condomínio e editados pela pesquisadora

O edifício comercial inteligente típico deste empreendimento possui dois blocos de dois pavimentos tipo. Antes da modificação feita pela empresa, cujo prédio é o estudo de caso deste trabalho, tinha 22 salas agrupadas por andar tipo, conforme *layout* no anexo A, e uma cobertura com 16 salas, cada bloco, totalizando 120 salas comerciais. No térreo, havia somente a recepção com o *hall.* Pode-se verificar a área útil das salas, antes e após a ocupação pela empresa, não considerando circulação, sanitários e outros, na tabela 4.1. O subsolo não foi computado por ser comum a todo o empreendimento.

Tabela 4.1: Comparativo de áreas úteis antes e após a ocupação
Fonte: Elaboração própria

Andar	Soma das áreas úteis das salas (m2) Antes da modificação	Soma das áreas úteis das salas (m2) Depois da modificação
Térreo	-	1229,14
1° e 2° pavs.	1786,58 + 1786,58	2193,26 + 2193,26
Cobertura	726,40	897,32
Telhado	-	-
Total	4299,56	6512,98

Analisando a tabela 4.1, verifica-se um ganho de área superior a 2.000 m², apenas eliminando-se as divisórias de alvenaria internas nas salas, passando a ser adotado o andar corrido, e aproveitando boa parte do térreo para ser utilizado como área útil, ou seja, incorporada como local de trabalho.

O sistema construtivo é em estrutura metálica, com fachadas de esquadrias em alumínio anodizado preto, internamente e vidro laminado refletivo na cor verde, externamente. O telhado é composto por duas camadas de telha de alumínio com poliuretano expandido entre elas, com espaço de ar entre a telha e a laje do teto da cobertura variando entre 1,20m na parte mais alta e 50cm na mais baixa[28]. Sob a referida laje existe uma camada de isopor e por cima desta camada, pintura asfáltica. Os demais dados construtivos do prédio, tais como paredes, alturas de pé direito, espessura das lajes, foram considerados com base no projeto de arquitetura (tabela 4.10).

No edifício comercial inteligente, objeto de estudo, os *layouts* das salas foram modificados de acordo com a estrutura organizacional da empresa. Por questões de segurança o pavimento subsolo foi fechado para acesso ao público e o acesso aos blocos é feito no térreo. O subsolo não é condicionado, nele localizam-se os medidores, uma pequena subestação e a sala da limpeza.

No térreo do bloco B encontra-se a recepção, sala de aprovisionamento, consultório, *help desk*, pequenas salas de reuniões e uma central de informática. No bloco A localiza-se o museu, junto a um espaço de convívio provido de copa com mesas para refeições, uma área livre aberta com vegetação sob o prisma e uma sala de reunião com capacidade para 24 lugares, nomeada de Sala Argentina. As salas de reunião pequenas têm seu uso em torno de 40% do tempo, enquanto a Sala Argentina uma média de 80%.

[28] Variação em função do caimento da telha.

O condicionamento de ar no pavimento térreo é feito por cinco *fancoletes* de teto em cada bloco, quatro deles são dedicados às fachadas, um para cada fachada, os outros dois atendem no bloco A, o museu e no bloco B, a recepção. Posteriormente, foram instalados no térreo como reforço de carga, na central de informática, duas unidades *split-system*, cujos compressores localizam-se na cobertura. Junto ao prisma existe uma perda de carga térmica devido ao fato do pavimento térreo ser condicionado e possuir abertura para o prisma, que por sua vez é aberto para o exterior na parte superior.

Nos primeiro e segundo pavimentos, uma grande área é composta por escritório paisagem ou estação de trabalho, caracterizada por não possuir paredes altas delimitando o espaço pessoal. As salas de chefia estão localizadas nas extremidades chanfradas fechadas por divisórias altas. Possue em cada bloco outras salas de trabalho específicas, salas de reunião, dois banheiros masculinos e dois banheiros femininos, e salas de máquinas de ar condicionado fechadas até o teto, algumas em alvenaria outras com divisórias.

Nos pavimentos tipo, o ar condicionado possui temporizadores nas salas regulados para 23°C ou 24°C. Cada fachada possui um aparelho de ar para condicionamento, totalizando quatro por andar para cada bloco, localizados em salas de máquina com acesso pelo corredor comum. São *fancoils* que recebem água fria da central de água gelada do condomínio. Com exceção de uma área específica no primeiro pavimento do bloco B, onde localiza-se o CPD da informática, que é atendido por um condicionador tipo *self-contained* com condensação a ar. Este funciona independentemente do sistema de água gelada do condomínio, para possibilitar funcionamento 24hs. Além desse citado anteriormente, possui mais duas máquinas tipo *split* funcionando como *back-up* do *self-contained*. Para dados mais completos sobre o sistema de condicionamento de ar veja o anexo B.

Os móveis são em madeira clara tipo pau marfim e as divisórias dos postos de trabalho na cor cinza claro. As salas de reunião estão ocupadas em torno de 80% do tempo, ficam com as luzes desligadas quando não estão em uso, sendo que o mesmo não se pode dizer do ar condicionado. Neste a distribuição é feita por áreas, o que faz com que eles permanecem ligados permanentemente no horário de trabalho, independente da ocupação. Além das salas de reunião, existem mais duas no 1° andar em que a iluminação permanece a maior parte do tempo desligada são elas: recepção e o arquivo.

A Iluminação na área de trabalho é feita com luminárias retangulares com duas lâmpadas de 32W fluorescentes tubular, refletores brancos e difusores (aletas) anti-ofuscante. A iluminação do andar corrido é ligada por meio de um interruptor para todo o salão. Nas circulações e *hall* dos elevadores, as luminárias são quadradas com duas lâmpadas fluorescentes compactas de 18W. Nas escadas internas dos blocos, localizadas nos prismas de iluminação e ventilação, a iluminação de emergência é conta do condomínio e permanece desligada. Porém possui iluminação auxiliar feita por duas luminárias com uma lâmpada fluorescente compacta cada, que permanecem ligadas sendo faturada pela empresa. Nos banheiros a iluminação fica ligada o tempo todo, utiliza-se luminárias reflexivas em alumínio com lâmpadas fluorescentes compactas e algumas lâmpadas incandescentes que foram compradas antes do racionamento e ainda encontram-se no estoque.

Nota-se com relação à iluminação que muitas lâmpadas foram desativadas, mantendo-se o nível de conforto visual exigido para as tarefas realizadas. Em praticamente todas as luminárias próximas as fachadas foram desligadas uma das lâmpadas manualmente. Este fato foi desencadeado com o racionamento de energia elétrica imposto pelo governo, iniciado em junho de 2001 e finalizado em março de

2002, em que a empresa direcionou esforços na busca da economia de energia elétrica e dura até hoje.

O terceiro pavimento ou cobertura diferencia-se dos pavimentos tipo, possui um terraço descoberto em torno do perímetro do prédio fruto da legislação local. É um espaço de convívio da empresa utilizado para descansar, lanchar, tomar café ou fumar. O terraço descoberto funciona como uma área de lazer, próximo ao *hall* dos elevadores encontra-se duas máquinas uma para venda de biscoitos e outra para café, chá, etc. No bloco A, tem-se a diretoria, o setor jurídico, sala de reunião Colômbia e auditório, ambas com a iluminação desligada quando não estão em funcionamento. No bloco B, têm-se diretorias e as salas de reunião América do Sul e Brasil, ocupadas em torno de 60% do tempo de trabalho.

Ar Condicionado segue o mesmo princípio do andar tipo com a diferença que neste pavimento as quatro máquinas *fancoil*, que recebem água fria do condomínio, uma para cada fachada ficam localizadas no mesmo cômodo dentro de cada bloco. Quanto à iluminação neste pavimento, as luminárias das circulações, banheiros e área de trabalho são iguais as do andar tipo, sendo que as externas do terraço são ligadas somente de noite por sensor de presença.

O pavimento técnico contém o telhado, a casa de máquinas dos elevadores e os compressores dos *split systems*. Não possui caixa d água superior, a água vem pressurizada do subsolo. O telhado é coberto com telha de alumínio na cor natural conforme descrito anteriormente.

5.2 SIMULAÇÃO DO CASO BASE

Uma vez definido o edifício que atendia aos parâmetros básicos estabelecidos inicialmente, contatou-se a empresa que o ocupa. Após a permissão para a pesquisa, foi

feita uma visita técnica objetivando levantamento e coleta dos dados iniciais, tais como: orientação do edifício, materiais de acabamento, padrões de uso e ocupação, número de funcionários, expediente de trabalho, *layout* interno, equipamentos e potências, sistema de condicionamento de ar, sistema de iluminação, altura dos cômodos, entre outros. Isto, pois o *software* necessita de centenas de variáveis para reproduzir as características da edificação e simular o seu comportamento em relação a determinados fenômenos.

A partir deste levantamento, organizou-se uma lista com a biblioteca construtiva englobando todos os materiais e acabamentos de fachadas, paredes internas, pisos e tetos, nomeando-os conforme anexo C. Inicialmente dividiu-se o edifício em cinco blocos correspondentes aos pavimentos existentes, são eles, subsolo, térreo, primeiro e segundo pavimentos, e cobertura (anexo A). Descrevendo os acabamentos de piso, espessura da laje e do revestimento, do andar (*floor*) e do andar de cima (*intfloor*), da área descoberta do andar de cima (*roof*), caso exista, o rebaixo do teto (*celing*), com as alturas do pé direito computadas do piso a laje na face inferior e do rebaixo a esta mesma laje, do pavimento imediatamente superior. Em cada bloco estas características se mantinham praticamente constantes. Montou-se uma tabela com os *schedules* básicos, anexo E.

Na descrição dos materiais de construção e acabamentos dos blocos teve-se que fazer algumas simplificações, pois o programa admite apenas um tipo, optou-se sempre pelo material mais significativo, ou seja, o de maior uso, o mais expressivo. Por exemplo, na descrição dos pisos dos blocos dos primeiro e secundo pavimentos utilizou-se carpete, embora existam banheiros cujo piso é cerâmico. Porém, como mais de noventa por cento do piso é carpete, desprezou-se a cerâmica.

Utilizou-se a caracterização geométrica do edifício feita por polígonos, a partir de arquivos anteriormente existentes no AutoCAD, desenvolvidos pela equipe de

arquitetura projetista do empreendimento. O VisualDOE identifica imagens de polígonos desenhados neste *software* (versão inferior a 12) exportados no formato DXF. Surgiu então a primeira dificuldade, o VisualDOE não aceitou a inserção de todo o pavimento como um bloco. Dividiu-se cada bloco original correspondente a um pavimento em três blocos, exceto subsolo e telhado, deixando um pequeno espaço entre eles, para que a caracterização geométrica pudesse ser concluída com êxito, fato que originou quatorze blocos ao invés dos cinco iniciais.

Com relação ao posicionamento vertical dos blocos (cada bloco neste caso representa três áreas de um mesmo pavimento, exceto subsolo e telhado, tem-se cinco pavimentos e a casa de máquinas dos elevadores - telhado), procurou-se fazer com que os vértices dos polígonos representando os blocos fossem coincidentes em cada andar, para que, escadas, elevadores, superfícies externas ficassem alinhadas, como no edifício real. O programa permite a entrada das coordenadas x,y, ou seja, horizontal e vertical do vértice inferior esquerdo sem considerar chanfros, fazendo uma extensão imaginária entre as arestas do polígono de modo a torná-lo um retângulo.

Houveram alguns entraves com relação ao posicionamento dos blocos nas coordenadas absolutas. Pois, a geometria do prédio em analise é irregular com chanfro nas bordas, supõe-se que devido a este fato, embora tenha sido feito corretamente o cálculo para o posicionamento alinhado dos blocos superiores, em algumas situações, o bloco surgia em lugar inesperado. Aparentemente não foi detectada uma explicação lógica para este fato, e foi preciso ajustar o posicionamento do bloco no sentimento, arrastando o polígono para o local correto. Sendo que se perdeu a precisão, desta forma, em alguns casos existe uma pequena diferença entre um vértice e outro no andar superior.

Na caracterização dos blocos é importante descriminar corretamente o nível, pois é pelo nível que se sabe qual parte do edifício está sendo trabalhada. Isto, pois os únicos dados que aparecem no quadrado de vista superior, no lado esquerdo da tela do programa, são o nome do bloco fornecido pelo programa, que não facilita a identificação por parte do usuário, e o nível em que o bloco se encontra.

O prédio foi todo dividido em blocos e estes em zonas, conforme a área atendida por cada unidade condicionadora. As áreas não condicionadas foram distribuídas em zonas distintas, o que pode ser verificado no anexo C. Foi adotada uma simplificação geométrica sobre a modelagem das zonas mediante a eliminação de divisões entre os cômodos de forma a otimizar o trabalho, visto que se tornou atraente sem influenciar significativamente os resultados (PEDRINI, 1997).

É importante observar que o primeiro e segundo pavimentos são muito parecidos, pensou-se inicialmente em fazer apenas um bloco e descriminar no VisualDOE a opção para multiplicar as características por dois, considerando assim o outro pavimento. Sendo que não foi possível, principalmente pelo fato do primeiro pavimento possuir uma área específica correspondente a central de processamento de dados (CPD), sendo atendido por um *self-contained* e por ter mais dois condicionadores extras do tipo *split,* em *stand by* sendo utilizados como *back-up*, necessários para o funcionamento desta sala que se dá 24horas por dia ininterruptamente.

No primeiro pavimento, encontra-se a monitoria com funcionamento semelhante ao do CPD, sendo que não tem equipamentos sensíveis que precisem do ar condicionado funcionando o tempo todo para manter a temperatura pré-determinada. O ar condicionado funciona apenas no horário do expediente da central de água gelada do condomínio, após este horário só a ventilação é acionada.

Toda zona pertence a um bloco, é uma subdivisão do mesmo. Cada zona foi numerada e nomeada em função de sua ocupação principal, por exemplo, TERREO4-Muse, corresponde ao pavimento térreo é uma das zonas onde se situa o museu. Foi definida a quantidade de pessoas que a ocupam, se a zona é condicionada ou não, como é iluminada, computado o consumo dos equipamentos e os seus expedientes de uso (veja anexo D).

Foram definidos, os acabamentos de cada perímetro da zona nomeados de paredes embora, em alguns casos (todos internos), não houvesse limite físico nenhum. Definiu-se os equipamentos utilizados na área de abrangência da zona para colher dados de potência e expedientes de uso. Procurou-se especificar materiais de construção nas paredes, o mais próximo possível do real. Por exemplo, nos casos em que não havia parede, utilizou-se uma praticamente nula sem efeitos de absorção e reflexão, apenas empregada objetivando atender uma solicitação do programa, de modo a rodar a simulação sem a ocorrência de erros. Esta etapa foi definida com base na planta de *layout* fornecido pela empresa e nas observações feitas no local, em diversas situações utilizando-se de dados aproximados de forma a obter simplificações na descrição do edifício.

O edifício faz parte de um condomínio, com legislação específica, onde as salas ou grupos de salas são independentes das áreas comuns do prédio e possuem suas contas pagas pelo condomínio e rateadas entre os condôminos. Logo, na conta de energia elétrica da empresa que ocupa o edifício este gasto, referente aos consumos de energia elétrica dos elevadores, iluminação externa, de escadas, circulações, garagem, exaustor dos banheiros, bomba de água servida, bomba terciária para enviar água gelada da central de água gelada para o prédio, consumo de água gelada para condicionamento de

ar e pressurização de água não são computados, uma vez que já é faturado na conta comum.

Devido a este fato, o consumo de energia elétrica do edifício analisado não está totalmente computado em uma única conta. O consumo total é um somatório de três contas diferentes. Uma delas contratada pela própria empresa com a concessionária (Light), correspondendo à ocupação das salas, utiliza uma tarifa de baixa tensão do tipo convencional. A outra corresponde às áreas comuns do prédio, conforme citado anteriormente, cuja energia é faturada pelo empreendimento Citta América, que cobra do edifício a energia consumida de fato, pois é feita uma leitura no relógio medidor aferindo de quinze em quinze dias este valor. Diferentemente da anterior, pois o condomínio recebe a energia elétrica em alta tensão e a transforma no local, porém ambas possuem a mesma unidade de medida.

A terceira conta é de gastos condominiais, onde dentre os itens incluídos o mais relevante para esse trabalho é o consumo de energia elétrica da central de água gelada - CAG, que opera utilizando em média setenta e oito por cento de seu potencial, não é paga por vazão, mas seu consumo é rateado proporcionalmente no condomínio. Não é uma conta de energia elétrica como as duas outras, portanto não é apresentada em Kwh, mas é um valor. Através do boleto do condomínio e da bomba terciária, que envia está água para o prédio sabe-se qual é o valor gasto em função da vazão da água gelada que vem da CAG comum ao empreendimento.

Usualmente o valor, corresponde as áreas comuns do prédio, aferido no relógio situa-se entre 10.000 à 11.000 Kwh mensais, que representa em torno de 1% do faturamento de todo o empreendimento. A tarifa do empreendimento como um todo, englobando as áreas comuns do shopping e dos edifícios, estabelecida com a concessionária é do tipo horo-sazonal azul com demanda contratada de 1.100.000 à

1.900.000 Kwh por mês, valor até novembro de 2006. A partir de novembro passará a ser de 1.150.000 à 2.000.000 kwh mensais.

A bomba terciária que envia a água gelada da CAG para os *fancoils* no edifício está conectada a uma válvula com sensor que limita a vazão d`água em 210 galões/min (gpm). Significa que no máximo a água gelada entra a 210 gpm no prédio, que convertendo para litros equivale à aproximadamente 47,69m³/h. De acordo com o administrador do condomínio, este valor situa-se entorno de 40 à 70gpm, dependendo da solicitação do sistema de condicionamento de ar, a válvula se abre para permitir a entrada de um fluxo maior ou menor. Para se ter uma precisão mais acurada, o consumo de água gelada para condicionamento de ar utilizado pelo edifício em estudo, foi calculado com base em uma média referente ao mês de março. Foi colocado um medidor na válvula onde foram feitas três leituras por dia, nos horários da manhã, tarde e noite.

Estas medidas foram tomadas para que fosse possível chegar a um consumo estimado de energia elétrica gasto pela central de água gelada com o prédio em questão, para fins de calibração do modelo. Pois, relembrando, a central de água gelada abastece todo o empreendimento, composto por um shopping e seis blocos de edifícios. A capacidade máxima dos *fancoils* em Trs é um dado conhecido, então pode se ter uma noção do consumo, fazendo uma relação entre a capacidade máxima instalada dos *fancoils* e a m³ estimada de água gelada vinda da CAG para o prédio em análise. A CAG tem três *chillers* com capacidade de 770 Tr cada unidade.

Conforme relatado, com a capacidade máxima em Trs do edifício definida foi feito um refinamento nesta informação. Através da medição nas válvulas chegou-se ao consumo estimado de água gelada, com estes dados, foi feita uma proporção do consumo do prédio com o da central de água gelada. Conclui-se que o consumo de

energia elétrica da edificação em estudo fica em torno de 15% do total consumido pela CAG. Fez-se necessário desagregar esta informação para fins de calibração do modelo.

Tabela 4.2: Contas de consumo de energia elétrica do edifício estudo de caso – média de 2006
Fonte: Elaboração própria

Contas	**Valores Médios** (kwh/mês)
Conta paga pela empresa em estudo	52.800
Conta paga pela empreendimento (condomínio)	10.939
Consumo de energia necessário para gerar água gelada	40.584
Total	104.323

O edifício analisado consome em torno de 400 m³ de água potável por mês, valor conferido por meio de medidor junto a bomba terciaria, o que representa a utilização de 2% à 3% da água potável de todo o empreendimento que é de aproximadamente 14500m³.

Foi necessário fazer a soma das três contas, pois na simulação do modelo do edifício foram computados todos os consumos de energia elétrica inclusive nas áreas consideradas comuns.

Após a inserção dos polígonos com as zonas configurando os blocos, ou seja, a fase da inclusão da geometria do edifício concluída, iniciou-se a descrição dos materiais de acabamento do edifício simulado na biblioteca construtiva do VisualDOE, utilizando-se a lista elaborada anteriormente. Houve então certa dificuldade, pelo fato dos materiais construtivos nacionais serem bem diferentes dos utilizados no país em que o *software* foi desenvolvido. Praticamente todos os materiais tiveram que ser criados ou editados a partir das características dos que já estavam disponíveis.

Depois foram criados padrões de utilização e operação do edifício associados ao tipo de ocupação. Definidas as escalas de utilização principais do prédio e às 24 horas, que foram criadas especialmente para o CPD e monitoramento. Foram declarados os

valores referentes aos equipamentos, a iluminação, ao sistema de ar condicionado, entre outros, incluindo a definição do uso nos fins de semana e feriados.

Destaca-se a importância de nomear as *schedules* criadas com nomes de fácil identificação, por exemplo, *schedules* de luz: cittalight e se for funcionamento 24hs: cittalight24h. Esta observação é valida para tudo o que for criado, pois a quantidade de informação é muito grande e este mecanismo facilita o trabalho e a manipulação do modelo, quando é feita a inserção dessas variáveis no programa. Sempre deve-se levar em conta a sua utilização, pode-se citar para ilustrar o fato, a *schedule* cittaocc, que foi criada considerando uma ocupação menor no horário do almoço, enquanto a cittalight, possui uma distribuição mais homogênea.

Com estes dados disponíveis voltou-se para os editores de blocos e zonas, chamando essas informações para seus respectivos locais e ao mesmo tempo fazendo uma revisão geral do modelo. Nas zonas, foram preenchidas as informações relativas à potência por metro quadrado de iluminação (LPD w/m2) e dos equipamentos (EPD w/m2), feitas com base nas informações disponíveis de projetos, levantamentos e entrevistas. Algumas informações sobre o consumo de energia elétrica dos equipamentos foram feitas por aproximações, utilizando-se dos expedientes de uso, criados anteriormente, para determinação do valor. É importante observar que os dados de entrada devem ser trabalhados de forma a considerar que o programa multiplica cada hora estabelecida no expediente de uso por este valor.

Com relação aos equipamentos, considerou-se que dois terços dos micros possuem impressoras e estas têm uma média de uso de vinte minutos cada, fez-se uma média entre os consumos de impressoras a lazer e jato de tinta, já que os dois tipos são utilizados, estabelecendo então o valor de 140w por pessoa, incluindo o microcomputador e a impressora. Nas salas de reunião, estimou-se o uso da iluminação

e equipamentos de acordo com a ocupação. Partindo-se do princípio que nestas salas os equipamentos usados são *datashow*, *laptop* e projetor.

Outros equipamentos, tais como, geladeira, microondas, maquina de café, aparelho de fax, chuveiro elétrico, ente outros, utilizou-se a potência conforme tabela 4.4, para fazer um cálculo do consumo com base no *schedule* de uso determinado para cada zona especificadamente e de acordo com cada tipo de aparelho. Como foi dito anteriormente, o programa multiplica o valor inserido no campo EPD por hora para calcular o consumo durante o expediente diário. Por exemplo, a copiadora apenas ligada consome 60w e copiando gasta 1500w, então considerou-se o uso para este equipamento de sessenta minutos, obtendo uma média de 210w, pois o expediente dura 10 horas então:

Tabela 4.3: Cálculo da potência considerada nos equipamentos utilizados nas Zonas.
Fonte: Elaboração própria

60w x 10h = 600wh
1500w x 1h = 1500wh
600wh + 1500wh = 2100wh
2100wh ÷10h = 210w

Tabela 4.4: Potência considerada nos equipamentos utilizados nas Zonas.
Fonte: Elaboração própria a partir da etiquetagem dos equipamentos, do site da Light e dados do CEPEL

Equipamento	Potência aparelho ligado	Potência aparelho em funcionamento	Potência para cálculo do EPD – (tempo em funcionamento)
Chuveiro elétrico		3500w	175w (30min), 45w (8min)
Geladeira	desprezível	2000w/h/dia	200w (1h)
Microondas	desprezível	1000w/h/dia	100w (1h)
Máquina de café	15w	2500w	830w (16min)
Máquina de biscoitos	20w		20w
Laptop	-	1000w	100w
Data show	-	4000w	400w
Projetor	-	5000w	500w
Roleta de acesso		350w	35w
Bebedouro	1000w/h/dia		100w
Aparelho de fax	20w	100w	48w (24h) + 17w (10min) = 65w
Impressora a laser	50w	180w	55w (3min)
Copiadora	60w	1500w	21w
Rack de som, Caixa de som, Microfone, Amplificador, Matizes áudio e vídeo		2600w	1620w (2:00hs)
Computador/ acessórios		140w	
Tela de projeção		500w	
Bomba de água servida (lixeira no subsolo)		368w	46w (1:30h)- schedule de 12h
Exaustores		8952w	8952w

.

Com relação à iluminação é importante observar que o programa não faz distinção quanto ao tipo de lâmpada. A eficiência da lâmpada, rendimento e fluxo luminoso não são computados de forma direta. Sabe-se que o rendimento de uma lâmpada incandescente é menor do que o de uma fluorescente compacta de mesma potência. É preciso ter este conhecimento para que o valor da potência na entrada de dados corrija um pouco este tratamento dado pelo VisDOE 2,61.

Iniciou-se o editor de fachadas, ou seja, das superfícies externas dos blocos, descriminando características físicas das janelas, das fachadas e com relação ao

sombreamento dos vãos com esquadrias. Cabe observar que na simulação deste modelo, pelo fato de ter sido feita a opção por desmembrar o que seria um bloco em três outros, criou-se superfícies externas para o programa que na realidade são internas no edifício real. Nestas áreas os materiais de acabamentos das fachadas foram definidos com valor zero para os parâmetros referentes às janelas, ou seja, não tem janela. O dimensionamento e material de acabamento dessas paredes foram especificados de acordo com a situação real e inseridos neste *folder* através da biblioteca de dados construtivos, previamente criada.

No subsolo foi preciso criar um artifício de sombreamento externo para que as paredes não obtivessem carga térmica por ganho solar direto, pois o programa não considera pavimentos enterrados. A área considerada como subsolo, no caso simulado trata-se de um pequeno trecho sob a escada enclausurada e elevadores tendo o *hall* em comum (ver anexo A). É um pavimento com sombreamento na laje de teto feito pelo piso do térreo na projeção dos pavimentos superiores. Por este motivo, o modelo do edifício aumentou de altura, acrescentou a altura correspondente ao pavimento subsolo que antes era abaixo do nível da rua, com relação à edificação real.

No *Exterior Shade for Base Case*, além do sombreamento no subsolo foram consideradas as árvores existentes e o prédio vizinho, que fazem sombra nas fachadas (figura 4.5).

Outra dificuldade foi definir as fachadas como pano de vidro, pois, o programa não admite este tipo de acabamento. No caso simulado não existem janelas tradicionalmente definidas nos andares tipo e sim uma grande área envidraçada em todas as fachadas. Foi preciso fazer aproximações na largura do vão, sempre estabelecendo valores um pouco inferiores à largura real das fachadas fornecida pelo modelo, para que pudesse ser aceito como se fosse uma janela.

Além disso, como os pavimentos possuem rebaixo em gesso no teto e vigas invertidas na laje de piso, nestas superfícies verticais voltadas para o exterior (área do rebaixo e viga) não pode existir janelas, pois o programa rejeita. Foi preciso então especificar o pano de vidro nos acabamentos das fachadas, como se fossem paredes dos blocos, no editor de fachadas.

Devido ao fato de ter sido criado três blocos ao invés de um por andar geraram-se fachadas inexistentes, ou seja, nestas superfícies não existe o pano de vidro, pois são superfícies internas.

Na cobertura, a fachada é recuada com relação aos andares tipo (anexo A), existem trechos em alvenaria e outros com esquadrias. Foi necessário fazer alguns ajustes com relação ao posicionamento das janelas, uma vez que, como foi dito no capítulo anterior, o programa não permite a indicação pelo usuário das coordenadas absolutas dos vértices das esquadrias. Mas, manteve-se a mesma proporção de área envidraçada por fachada, não interferindo nos resultados da simulação.

No editor de sistemas de condicionamento de ar optou-se pela solução customizada (*Assignments – Custom*), pois existem zonas não condicionadas e condicionadas, com solicitações térmicas diferentes entre as zonas condicionadas. Cada fachada possui um *fancoil* com especificação particularizada, em função da carga térmica recebida devido à orientação geográfica da fachada. Além do CPD, que possui um sistema de condicionamento de ar diferenciado, pois trabalha 24hs pôr dia ininterruptamente.

Elaborou-se na lista de sistemas nomes diretamente relacionados às características das zonas, englobando a indicação do andar em que está situada determinada zona e sua utilização. Criando sistemas com mesmo nome das zonas,

sempre visando otimizar o trabalho e permitir uma identificação ágil, já que, são várias zonas, portanto vários sistemas.

O sistema de condicionamento de ar predominante no edifício em questão utiliza *fancoils,* que recebem água gelada durante um horário pré-definido, englobando o horário de expediente diurno, de um tanque de pressão com capacidade de 1500 lts do condomínio. Possuem ainda, dois aparelhos do tipo *split-system* utilizados como reforço de carga da sala de informática localizada no térreo, e um *self-contained* com condensação a ar independente da água gelada do condomínio, que não é fornecida 24horas por dia, para permitir o funcionamento do CPD nas condições de temperatura e umidade pré-definidas.

Para caracterizar os *fancoils* utilizou-se a opção *Two-Pipe Fan Coil System*, já que estas unidades são servidas com água gelada do *chiller*; para o *self-contained,* usou-se *Packaged Single-Zone System*; e para os aparelhos do tipo *split-system,* opto-se pelo *Single Zone Variable Temperature System*.

Na caracterização do ciclo de refrigeração dos *fancoils*, os dados do ventilador são variáveis e o *cooling* especificado em projeto foi comum para todos. Este *cooling* refere-se ao trocador da serpentina de água gelada, ou seja, são dados da eficiência do trocador de calor, uma parte do ar não passa pela serpentina, sendo quantificado neste formulário. O fato de existir um *cooling* no *fancoil* gerou uma dúvida, pois pensou-se inicialmente que fosse relativo a CAG que faz este trabalho para todo o edifício, bem como, engloba todas as edificações do Citta América.

Como o sistema de água gelada é comum para todo o empreendimento, ou seja, abastece tanto as lojas do shopping, quanto os seis blocos de edifícios, pensou-se inicialmente que ele estaria superdimensionado atendendo apenas um bloco e se tornaria ineficiente em termos de consumo de energia elétrica. Sendo que, após uma análise feita

em parceria com um profissional com formação em engenharia mecânica, especialista em ar condicionado e usuário do programa, chegou-se a conclusão que a melhor opção seria inserir os dados do *chiller* e demais equipamentos da CAG conforme existente no local e deixar que o programa calculasse o volume de água gelada a ser produzido somente para o prédio.

Definiu-se inicialmente, um aparelho de média eficiência (*Dx Med Eff*) com ar de saída na temperatura de 11,8°C, do tipo centrifugo e para todos os outros parâmetros foram adotados os padrões do programa. Posteriormente, chegou-se a conclusão após a consultoria a um especialista, como exposto no parágrafo anterior, que seria melhor simular um sistema de água gelada com características similares ao existente, embora na simulação ele fosse específico para o edifício em questão, adotando-se por fim estes dados (anexo B). No caso do modelo, a eficiência do sistema de condicionamento de ar não está diretamente relacionada ao volume, pois foi inserido apenas um dos *chillers* e acionada a opção *Let Program Size* para definir a capacidade da CAG.

No formulário *Supply Fan* insere-se as especificações dos *fancoils*, as características dos aparelhos com relação à potência são diferentes e foram definidas em projeto, como pode ser verificado no anexo C. Os ventiladores são de vazão constante (*On-Hours Control: Constant Volume*) com sua especificação em *Template – Default Supply*. O método adotado foi Enter *Power/Delta T*, em função dos dados disponíveis fornecidos pela equipe de manutenção desses aparelhos, sendo que as unidades precisaram antes ser convertida de cv/(m3/h) para kw/(l/s)[29]. O motor do ventilador faz parte da unidade do *fancoil* (*Motor Placement: In Air Stream*) e o local do ventilador na unidade foi definido como *Blow Through*, seguindo as especificações do manual do programa VisualDOE 2.61, todos os outros dados foram calculados pelo programa.

No *Packaged Single-Zone System* foram definidos os dados do *self-contained*, de acordo com o anexo B, cuja função específica é de condicionamento do ar na área do CPD, pois necessita deste aparelho trabalhando ininterruptamente. Para os aparelhos do tipo *split-system*, utilizados como reforço de carga de uma sala no térreo, optou-se pelo *Single Zone Variable Temperature System*. Esta sala é refrigerada tanto pelo *fancoil* com potência de 0,75cv e vazão de ar 1275m³/h, quanto por dois aparelhos *splits* com capacidade de 18000 e 36000 btu/h.

Este fato gerou certa polêmica, pois o programa aceita apenas um sistema para cada zona. Não existe a possibilidade de o programa considerar mais de um sistema por zona, e precisava-se entrar com os dados do sistema representando a realidade existente. Nesta fase seria inviável modificar as características da zona como, por exemplo, foi levantada à hipótese de subdividir esta área em duas zonas. Optou-se por fazer uma simplificação, adotando-se o sistema que acarreta o maior consumo de energia elétrica, ou seja, o *split* com capacidade de 54000 btu/h, somatório dos dois aparelhos.

Encerrando-se as especificações dos sistemas de condicionamento de ar, partiu-se para configurar no programa as características do vidro. O tipo de vidro utilizado nas fachadas do edifício analisado neste trabalho é muito particular, parecendo que foi feito especificamente para esta obra, já que não se encontra no mercado. Quando é necessária a reposição, só uma determinada empresa consegue reproduzir fielmente as características técnicas e de coloração, de acordo com o depoimento do engenheiro responsável pela manutenção de todo o empreendimento. Este mesma empresa foi quem forneceu as características técnicas do vidro que se encontra na tabela 4.5.

É pôr definição, um vidro laminado refletivo verde de seis milímetros, onde o vidro verde recebe um banho de prata ou estanho para tornar-se espelhado e depois é

[29] Para converter estas medidas foi utilizado o site www.generalcablecelcat.com/tabelas_tecnicas/elec_e128.html em 10 de outubro de 2005.

colado um vidro incolor na face em que recebeu este tratamento. Destaca-se a importância da definição correta deste material pelo fato de que as fachadas são todas em pano de vidro, ou seja, o fechamento externo da edificação é praticamente todo em vidro.

A especificação deste vidro é feita no programa VisualDOE pelo *Fenestrations Editor.* Como foi dito no capítulo anterior, pode-se criar novos vidros. Este processo é feito em outro programa chamado *Window 4.1 Computer Program*, que produz um arquivo para o *VisualDOE* 2,61 e é necessário um conhecimento técnico mais profundo do vidro a ser criado, utilizado principalmente pelas industrias de vidros.

Foi feita uma consulta aos vidros existentes na biblioteca do programa, comparando as características técnicas destes com as especificações fornecidas do vidro utilizado na edificação, de modo a verificar se existia algum material com qualificação semelhante, então, optou-se por um tipo de vidro preexistente com as características técnicas descriminadas na tabela 4.5.

Tabela 4.5: Comparação entre dados do vidro existente e do vidro adotado no programa. Fonte: Elaboração própria a partir de dados da Temperglass Rio Vidros e do programa VisDOE 2.61

Características técnicas dos vidros	Dados do fornecedor - Tempreglass	Descrição no DOE-2 Single Clear SS08
TL - Transmissão Luminosa	8%	8%
Rle – Reflexão Energética	29,4%	25%
Rli – Reflexão Luminosa	37%	37%
TE – Transmissão Energética	4,8%	27%
AE – Absorção Energética	77,6%	48%
Valor U	4,37 w/m2 °C	4,90 w/m2 °C
CS – Coeficiente de Sombreamento	0,23	0,23
Heat Gain	-	344 w/m2
Expessura	6mm	6mm

Quanto ao consumo de energia elétrica dos três elevadores, considerou-se uma média baseada na metodologia de cálculo utilizada pelo fabricante Otis, embora os

elevadores deste prédio em análise sejam da Atlas Schindler. Esta última, não soube informar o procedimento a ser adotado para que se pudesse estimar o consumo de energia elétrica dos elevadores para fins de simulação. As especificações técnicas dos elevadores fornecidas pela Atlas Schindler encontram-se no anexo F.

O consumo de energia elétrica de um elevador depende de muitos fatores, tais como: tipo de equipamento; número de partidas; percurso percorrido em cada viagem; capacidade e velocidade da cabina; potência e rendimento do motor; corrente nominal e de partida do motor, entre outros. Muitos deles são variáveis conforme o regime de uso do elevador. Os elevadores do edifício analisado utilizam somente a potência necessária para atender a carga específica. As botoeiras têm sistemas conjugados, ou seja, o botão chama o elevador que está mais disponível, o que vai atender mais rápido em função das solicitações existentes naquele momento.

Por se tratar de um edifício comercial de escritórios partiu-se da hipótese de que cada passageiro realiza seis viagens por dia; cada viagem, em média, corresponde à metade do percurso total do elevador; cada andar, em média, com 3m de altura e parte das viagens não consome energia. O cálculo de consumo de energia elétrica pelo site da Otis[30] foi feito baseado nas características técnicas dos elevadores, que são possuir freqüência variável e máquina com engrenagem utilizando tecnologia atual. Com esses dados o consumo estimado por cada elevador foi de 91 KWh/mês totalizando 274 KWh/mês, já que são três (anexo F).

Como a unidade encontrada é KWh/mês e este consumo é registrado no *Miscellaneus Energy* cuja a unidade é kw, foi preciso fazer a transformação considerando que os elevadores funcionam onze horas por dia, durante vinte e dois dias

[30] http://www.aobr.on.com.br/Rac_Energia/Internet_pages/PlanilhaCalc.asp em 20 de setembro de 2005

no mês, chegando ao resultado de 1,13 kw, valor digitado em *power* utilizando o *schedule* cittaocc, como a fórmula que se segue:

Tabela 4.6: Cálculo de consumo de energia elétrica dos elevadores no programa.
Fonte: Elaboração própria

11h/dia x 22 dias/mês = 242 h/mês
274 kwh/mês = 1,13 kw 242 h/mês

No caso das bombas hidráulicas, suas potências foram somadas a dos elevadores e o valor foi registrado no mesmo local. Estes aparelhos são para bombeamento terciário de água gelada, que vem da central de água gelada, para os aparelhos tipo *fancoil* existentes no edifício. A potência é de 5 Hp para cada bloco, o que equivale a um total de 7,46Kw.

No *Miscellaneus Energy Use for Base Case,* também foi registrado o consumo de energia elétrica da iluminação externa, calculado com base nos dados de projeto e conferidos no local junto ao administrador do condomínio, totalizando 1226 Kw, funcionando de acordo com o *schedule* cittalightexterna (anexo E).

5.2.1 – **Cenário Climático de Simulação**

A cidade do Rio de Janeiro está situada a 22°49` de latitude sul e 43°15` de longitude oeste, é banhada pelo Oceano atlântico caracterizando-se como oceânica. Sofre o domínio do Anticiclone Tropical do Atlântico, que atua com mais intensidade no inverno e com ventos de nordeste à noite, durante o verão. Devido sua proximidade com o Oceano Atlântico, é afetada pelas brisas que sopram à tarde provenientes do continente e pela noite vinda do mar, com maior intensidade durante o verão.

Com relação ao cenário climático, o arquivo com dados climáticos horários anuais utilizado neste trabalho em formato TRY[31], representa o ano climático do Rio de Janeiro, de 1963 (anexo G). Caracteriza o ar exterior da edificação através de dados horários de temperatura de bulbo seco e bulbo úmido, pressão atmosférica, entalpia, densidade, umidade, direção e velocidade do vento, radiação direta normal e no plano horizontal, índices de nebulosidade do ar, tipo de nuvem, ocorrência de chuva e de neve (PEDRINI, 1997).

É importante observar que o TRY não representa exatamente os dados reais correspondentes ao período analisado. Face às variações climáticas sazonais, seria preferível que os dados climáticos se referissem a dias típicos médios de dias extremos e não simplesmente médios, como é tratado pelo TRY (MAIA, 2002). Pois permitiria a verificação do comportamento dos ambientes internos, em circunstancias onde os equipamentos mecânicos estariam trabalhando com maior carga, para manter o mesmo nível de conforto higrotérmico de seus usuários.

Além dessas limitações, existe o fato dos dados referirem-se ao ano de 1963, sabe-se que a urbanização e à modificação da cobertura da camada vegetal natural, tem suas influências no clima. Comparando-se os valores das "Normais Climatológicas" dos períodos de 1901 a 1930 e de 1961 a 1990, tem-se um aumento de 1° C nos valores das temperaturas média, máxima e mínima em relação à primeira (Cadernos do PROARQ 6, 1999).

Os dados apresentados no anexo G, configuram o conjunto de informações utilizados pelo programa VisDOE, e constituem a base para os cálculos de desempenho térmico da edificação em análise.

[31] TRY, do inglês, *Test Reference Year*, se refere a um ano climático completo e real selecionado dentre 10 anos climáticos disponíveis como sendo aquele com os dados melhor distribuídos, sem extremos em termos de máximas e mínimas.

5.3 ANÁLISE PRELIMINAR DA INSOLAÇÃO SOBRE A EDIFICAÇÃO

Sabe-se que os ganhos de calor transmitidos ao ambiente através do envelope são devidos aos efeitos de condução[32], convecção[33] e radiação direta e difusa. Para se proceder a uma analise preliminar do efeito da insolação na edificação, é preciso considerar o movimento solar, este varia com o dia, hora e local da superfície. O trajeto do sol pode ser observado na carta solar, e reproduzido no projeto por meio da altura solar e azimute, pode-se então saber quando o sol está incidindo diretamente em uma fachada. E o ângulo de incidência da radiação solar, que interfere na quantidade de calor e luz solar direta que entra pela abertura.

Utilizou-se o programa Luz do Sol 1.1 para fazer uma simulação do comportamento do sol nas fachadas e uma análise simplificada da entrada de luz solar direta e difusa no ambiente através das janelas. Pode-se verificar as manchas solares e sua intensidade nas superfícies da edificação. Os dados de entrada para a referida simulação foram os seguintes:

- Latitude: -22,60°
- Orientações: 5°, 95°, 185° e 275°
- Data: 29 de outubro de 2006
- Nebulosidade: 4,5

A seguir têm-se as figuras 4.6 a 4.9, com a carta solar da cidade do Rio de Janeiro para as orientações descritas anteriormente.

[32] Na condução ocorre a troca de calor entre dois corpos que estão em contato e que possuem temperaturas diferentes.
[33] Troca térmica por convecção pode ser definida como a transmissão de calor por meio de um líquido ou fluido.

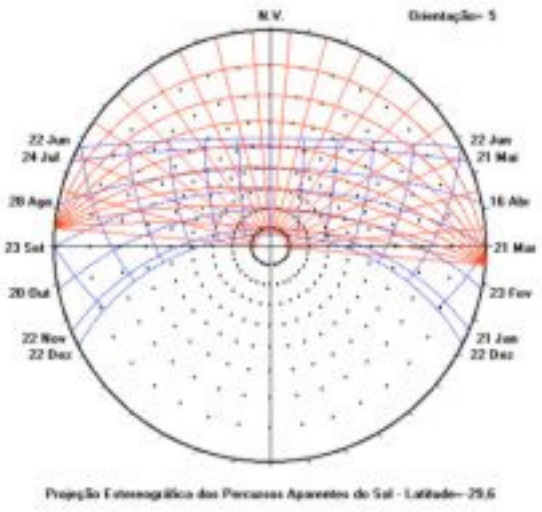

Fig. 4.6: Carta solar para orientação de 5°
Fonte: Programa Luz do Sol 1.1

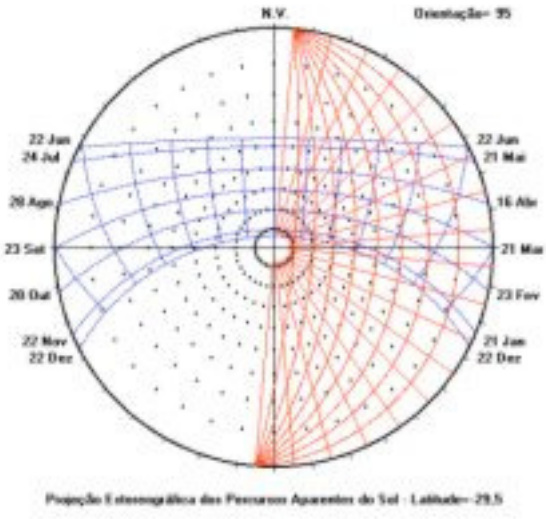

Fig. 4.7: Carta solar para orientação de 95°
Fonte: Programa Luz do Sol 1.1

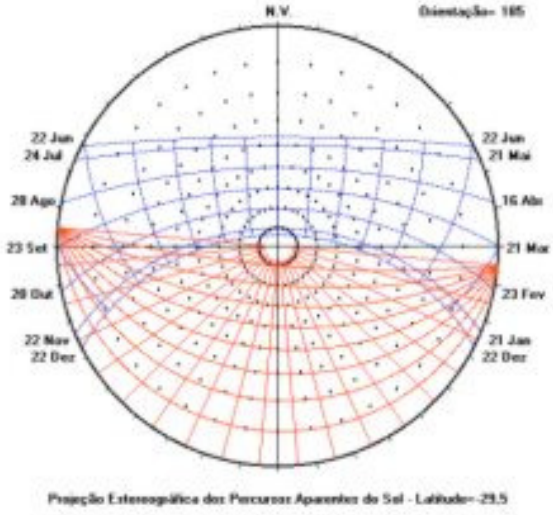

Fig. 4.8: Carta solar para orientação de 185°
Fonte: Programa Luz do Sol 1.1

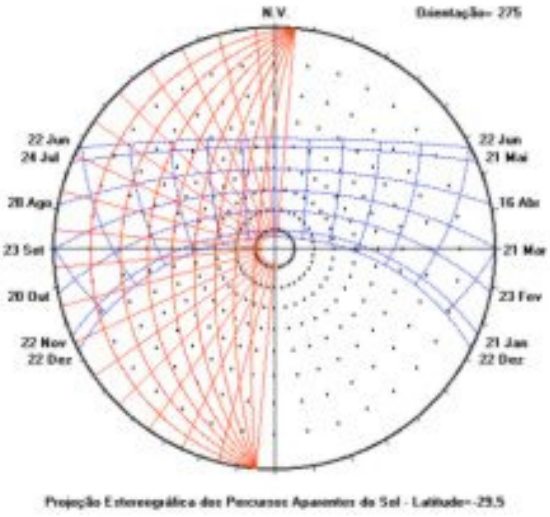

Fig. 4.9: Carta solar para orientação de 275°
Fonte: Programa Luz do Sol 1.1

Pode-se dizer que na orientação de 5°, praticamente Norte, o sol encontra-se mais baixo durante todo o dia no inverno e em boa parte da primavera e outono; sol encontra-se mais alto no verão, que incide poucas horas do dia. Na orientação de 95° correspondente a fachada Leste, praticamente existe sol todas as manhãs em todas as estações. Na fachada orientada para o Sul com 185° o sol é inexistente no inverno; pouco presente no outono e primavera, no início e no final do dia; sol mais presente no

verão, no início e final do dia, desaparecendo por volta das 8:00hs e reaparecendo às 16:00hs, até o final do dia. Na orientação de 275°, Oeste, o sol alcança a fachada todas às tardes em todas as estações.

Após uma análise do comportamento do sol na fachada, foram verificados os impactos das manchas solares e sua intensidade nas superfícies do edifício. A orientação da 5° (praticamente norte) onde a maior fachada do edifício se encontra foi uma decisão considerando o clima, porque recebe menos radiação solar e em um ângulo de incidência baixa. As fachadas leste e oeste são menores do que os outras e estão mais expostas à radiação solar.

As áreas de fachada do prédio analisado com maior ganho solar encontram-se parcialmente sombreadas pelo prédio vizinho, pela vegetação do entorno e árvores existentes no calçamento de áreas próximas. Contribuindo para reduzir o ganho solar por radiação direta nessas superfícies.

O último andar do pavimento tipo necessita de uma análise complementar, uma vez que, sobre sua laje de teto encontra-se o terraço descoberto do pavimento de cobertura. Isso significa que sobre uma superfície de grande área, será acrescida uma carga térmica significativa. As salas situadas na cobertura possuem exposições altas de carga térmica oriunda do telhado, porém a telha tem um tratamento térmico. Não existe beiral para proteção das fachadas neste pavimento.

5.4 COMPARAÇÃO ENTRE O CASO DE REFERÊNCIA MEDIDO E O CASO SIMULADO DE BASE – A CALIBRAÇÃO

Segundo pode-se verificar, nos resultados das simulações, pelas curvas de carga térmica relativa ao consumo de ar condicionado durante o ano, os meses de verão são os mais críticos para obtenção de conforto térmico. O sistema de condicionamento de ar é responsável por uma parcela significativa do total de energia elétrica consumido no

edifício em estudo, em torno de 63% (gráfico 4.1). Não existem problemas específicos de acústica.

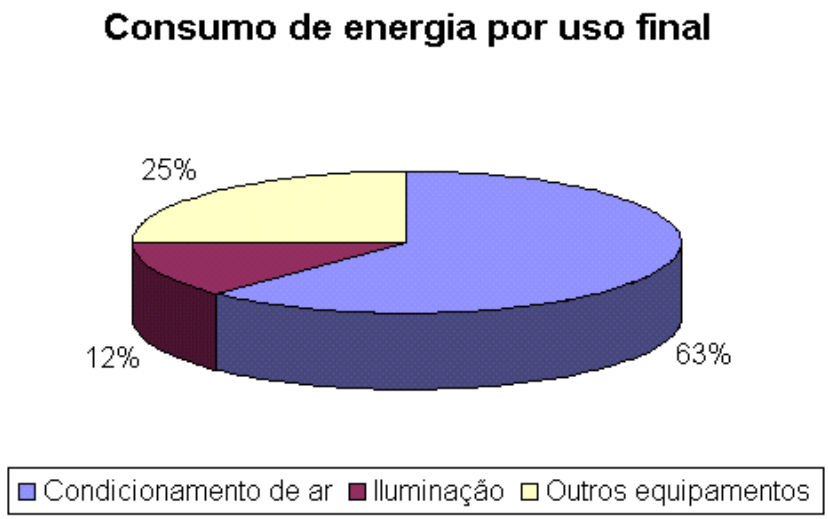

Gráfico 4.1: Consumo de energia elétrica por uso final com base na simulação
Fonte: Elaborado pela pesquisadora

Os gráficos 4.2 e 4.3 mostram o total anual de energia elétrica em kWh/m² consumido pelo edifício de escritórios estudo de caso deste trabalho. O gráfico 4.2 mostra os resultados da simulação em kWh/m² por mês e o gráfico 4.3 mostra o consumo de energia elétrica por usos finais separados por categorias, em condições quase reais ao do edifício existente.

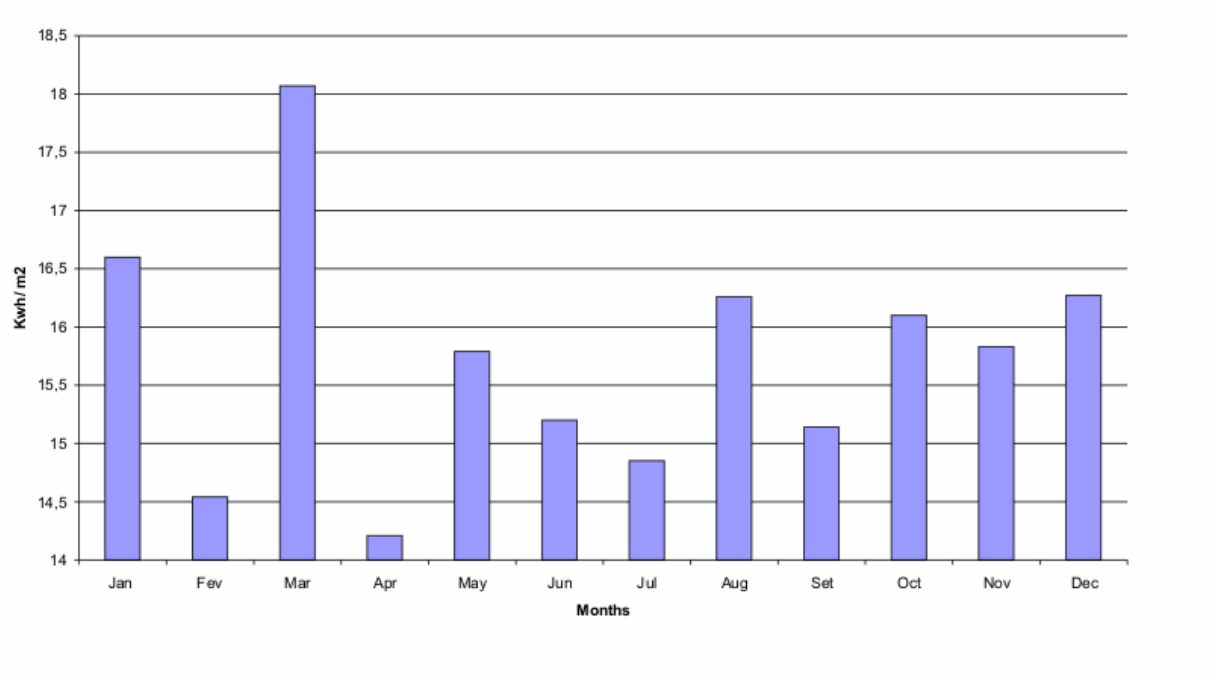

Gráfico 4.2: Consumo mensal de eletricidade em kWh/m²
Fonte: Elaborado pela pesquisadora

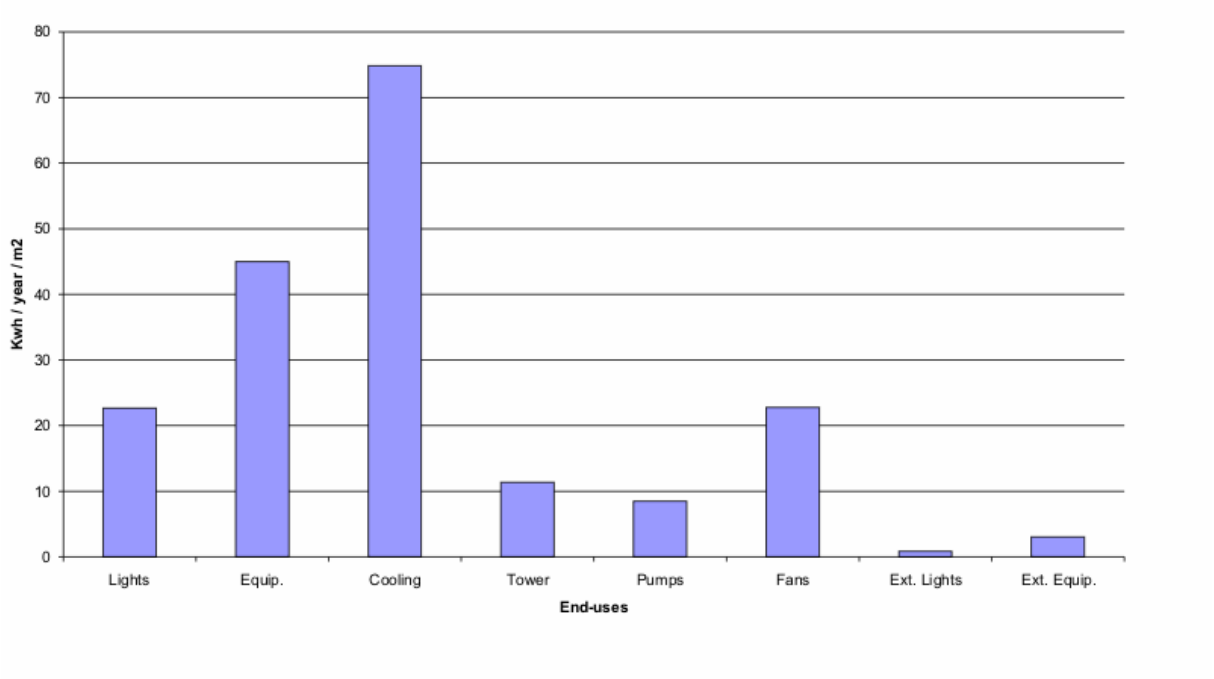

Gráfico 4.3: Consumo de energia elétrica por uso final em kWh/ano/m^2
Fonte: Elaborado pela pesquisadora

Para chegar-se aos resultados acima expostos, inicialmente foi feita a criação do modelo base, depois foi necessário executar sua calibração, tendo como base contas de

energia dos meses anteriores por um período de um ano. A premissa básica adotada foi a de que o edifício estaria funcionando normalmente (ar condicionado, iluminação, pessoas e equipamentos) no horário do expediente, sendo que as variações consideradas foram identificadas na visita e informadas por funcionários. O programa permite o cálculo do consumo anual por uso final dos equipamentos, para um ano típico (trabalhado estatisticamente).

Inicialmente, após a inserção de praticamente todas as variáveis descritas nos itens anteriores, com algumas simplificações inclusive no sistema de condicionamento de ar, que seriam melhoradas posteriormente, tentou-se executar a primeira simulação. Em *Run/Setup/SimulationRun DOE-2,* pediu-se para simular o caso de base e após alguns minutos leu-se a mensagem de erro. Em *File/Print Reports* verificou-se qual foi o erro que impediu esta simulação energética.

Constatou-se uma limitação do programa quanto ao número de superfícies externas e internas. Já se sabia de restrição com relação à quantidade de blocos podendo chegar ao máximo de vinte, descobriu-se por tentativa e erro, pois em momento algum foram citadas no manual técnico. O programa permite trezentas superfícies externas e quinhentas e doze internas, o caso simulado inicialmente apresentou número quase duas vezes superior, com relação às superfícies externas ao estabelecido pelo VisualDOE 2.61.

A partir deste fato, partiu-se para fazer uma revisão nos dados inseridos, testando várias hipóteses, com o objetivo de resolver o número excessivo de superfícies sem ter que mudar a geometria dos blocos. Isto, pois modificar os blocos significa perder todas as informações antes inseridas nele. Após a simulação, foram escolhidos os relatórios *Architectural Details* e *Results*, cujos textos apareceram mediante a execução do botão *print preview*.

A primeira observação feita relaciona-se aos nomes que o programa determina para as fachadas. No *folder façade*, o primeiro número refere-se ao bloco, todas as fachadas estavam coerentes até chegar na cobertura, nesta, a nomeação gerada estava incoerente e muito diferenciada. Pensou-se que havia algum problema relacionado à criação dos blocos na cobertura, pois a mesma foi modificada algumas vezes, sendo inserida mais de uma vez. Admitiu-se a possibilidade do programa ter guardado aquelas informações que haviam sido apagadas e ter acumulado um número excessivo de fachadas gerando aqueles códigos estranhos.

Partiu-se para testar as hipóteses com a intenção de solucionar o problema encontrado. Foi salvo o arquivo original com outro nome e iniciaram-se os testes conforme abaixo:

1. apagou-se o telhado, era um bloco simples com três zonas não condicionadas. Constatou-se que essas zonas não precisavam existir já que se tratava de um único ambiente, a casa de máquinas dos elevadores. Inseriu-se um bloco do sistema no *folder blocks*, com a mesma dimensão externa e com profundidade do perímetro (*Perimeter Depth*) de dois milimetros, apenas para constar alguma profundidade. O programa solicita um valor a fim de permitir a criação do bloco. Rodou-se a simulação e verificou-se uma diferença, diminuiu em trinta e uma o número de superfícies externas, e de sessenta e seis o número de superfícies internas, comparando com a primeira simulação;

2. mesmo admitindo-se o item anterior, o problema não havia sido completamente resolvido, as superfícies externas ainda estavam excedendo o limite. Pensou-se nos vãos envidraçados das fachadas, como o programa não admite pano de vidro, adotaram-se inicialmente várias janelas com pequenos valores de alvenaria, no sentido da largura e comprimento, entre elas. Testou-se a hipótese de fazer um único vão com grande dimensão e um pequeno valor de alvenaria nas

laterais da janela em uma das fachadas do pavimento tipo, escolhida aleatoriamente. O resultado foi nenhuma redução com relação ao primeiro item simulado, abandonando-se esta idéia;

3. em *System* pensou-se em optar por *One System for Each Zone*, ou seja, cada zona com um sistema diferente ao invés da opção *Custom* especificada. Diminuiu para vinte e uma superfícies externas, sendo que não seria possível adotar esta medida uma vez que existem zonas que não são condicionadas;

4. verificou-se se o sombreamento externo causaria algum efeito nas superfícies externas, eliminando-se o *Exterior Shading*, não foi observada nenhuma diferença;

5. partiu-se então para eliminar bloco por bloco, verificando o resultado sempre que era retirado um deles. Como o telhado já havia sido testado anteriormente, no item 1, apagou-se um trecho da cobertura, o bloco 13, que resultou em menos trinta e seis superfícies externas com relação ao referido item. Ainda havia um excesso, já que tinham restado quatrocentas e trinta e sete superfícies externas. Neste processo as superfícies foram sendo eliminadas conforme tabela abaixo:

Tabela 4.7: Comparativo com simulações do número de superfícies externas.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do VisDOE 2.61

Bloco / nível / pavimento	Superfícies	
	Existentes	Diferença
13 / 5 / Cobertura	437	36
12 / 5 / Cobertura	388	49
11 / 5 / Cobertura	371	17
10 / 4 / 3° pavimento	320	51

Chegou-se a conclusão que este não era o caminho a percorrer, desta forma seria preciso refazer toda a entrada de dados simplificando a geometria do edifício. Pois já

tinha-se eliminado o telhado, toda a cobertura e parte do terceiro pavimento e ainda assim o número de superfícies estava acima do permitido pelo programa;

6. o edifício em questão tem o ar condicionado retornando por pleno, ou seja, guiado por septos no rebaixo em gesso. Resolveu-se tirar o pleno de todos os andares, a simulação foi executada, o programa aceitou e não teve mais este erro específico. Concluiu-se pelos resultados que o programa considera duas superfícies para cada fachada, uma acima do entre forro e outra abaixo. Quando foi eliminado este entre forro, o número de superfícies externas estava dentro das trezentas permitidas;

7. tentou-se manter o pleno apenas na cobertura, afim de minimizar os efeitos da radiação solar no telhado, mas, o número de superfícies externas ficou em trezentas e quarenta e nove ultrapassando o limite aceito pelo programa, inviabilizando esta medida.

Eliminar o retorno por pleno resolve um problema, mas ao mesmo tempo surgem outros. Primeiro está relacionado à altura do edifício que diminuiria, pois a altura útil dos compartimentos habitáveis, salas, não poderia aumentar. Este parâmetro está diretamente relacionado ao volume do ar do ambiente que é condicionado, então se mantido o pé direito útil à altura total do prédio diminuiria.

Com a edificação mais baixa poderia existir uma diferença no consumo de energia elétrica? Qual é a importância deste trecho que está sendo eliminado? Depois pensou-se com relação ao volume de ar no próprio entre forro, surgiram as perguntas: O que representa este no desempenho energético do prédio? Qual seria a conseqüência de retirá-lo?

Com relação à altura do prédio o principal efeito seria o vento, porque quanto mais alta é a edificação, menor é a interferência dos obstáculos tratando-se de uma zona

urbana. Como o edifício é climatizado artificialmente e todo fechado, as esquadrias não são abertas, este problema é minimizado. E ainda, a altura do edifício já havia sido aumentada em função do subsolo, pois o mesmo não pode ser enterrado na modelagem da edificação no programa, compensando de certa forma esta solução proposta.

Quanto ao ar de retorno sabe-se que o mesmo é mais quente que o ar ambiente, tornando a temperatura do ar um pouco mais elevada dento do entre forro, pois o sistema de iluminação onde as luminárias estão embutidas no teto emite calor neste espaço. Analisando o programa, verifica-se que este não considera a posição das luminárias, pois não permite ao usuário especificar se é embutida ou não, fazendo o cálculo de maneira generalizada, minimizando este efeito.

Quanto ao primeiro andar, térreo e subsolo, estes problemas antes esboçados tornaram-se irrelevantes diante de uma análise simplificada. No segundo andar e na cobertura, a eliminação do forro em gesso diminuiria em um metro o colchão de ar, que em última análise é um bom isolamento térmico da laje acima. O terraço da cobertura é uma grande área descoberta recebendo insolação direta. O terraço é composto por laje e material de acabamento externo em cerâmica. O telhado acima da cobertura possui um tratamento térmico, mas até quanto está proteção funciona? E a camada de ar abaixo da laje quanto ajuda nesta resistência a entrada de calor?

> Com o intuito de solucionar estas questões de grande relevância para o desenvolvimento do trabalho, sem comprometer a qualidade do mesmo, fez-se uma nova simulação de um edifício hipotético criado especificamente para este fim. Nele poderiam ser feitos os testes de teto com pleno e sem pleno, com isolamento térmico e sem, enfim, as composições para verificar a diferença no consumo de energia elétrica e chegar a um arranjo não necessariamente real, simulado, que compensasse a substituição do pleno existente.

O edifício hipotético foi projetado com dimensões de 100 x 100 x 4m medidas correspondentes à largura, profundidade e altura com pleno (rebaixo) de 1m, e altura

igual a 3m quando simulado sem pleno. Este modelo foi feito bem simplificado, sem janelas, com um único andar, utilizando os dados padrões do programa, ar condicionado igual ao modelo estudo de caso e um material de acabamento simples na cobertura, sem nenhuma preocupação energética. Resultado da simulação encontra-se na tabela 4.8 abaixo.

Tabela 4.8: Modelo teste simplificado - comparativo de consumo de energia elétrica.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do VisDOE 2.61

Medida do bloco em metros	Características do modelo	Consumo de energia elétrica em kWh
100 x 100	Sem pleno, com ar abaixo da laje	6.608,107
100 x 100	Sem pleno, sem ar abaixo da laje	6.739,659
100 x 100	Com pleno, sem ar abaixo da laje	6.424,555

Notou-se um desempenho termo-energético superior no caso simulado com pleno (correspondente à situação real do edifício simulado), com relação aos outros dois casos sem utilização do pleno. Logo, precisava-se encontrar um material de construção, a ser utilizado na simulação, que compensasse esta diferença de modo a não comprometer os resultados finais.

Novamente, usando-se o mesmo edifício hipotético, citado anteriormente, mantendo-se as suas medidas, acrescentou-se dez janelas com dimensões de 3m x 1.5m (largura x altura), em cada fachada. Criou-se em paralelo, materiais de construção mais resistentes a entrada de calor, com inércia térmica maior que os utilizados até então, para usar na laje de teto. O objetivo foi de compensar a retirada do colchão de ar fornecido pelo pleno. Foram feitas quatro simulações para cada uma das duas situações críticas, são elas: teto da cobertura e teto do terceiro pavimento, conforme tabelas 4.9 e 4.10, respectivamente.

Tabela 4.9: Modelo teste com janelas– comparativo de consumo de energia elétrica em função do teto da cobertura.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do VisDOE 2.61

Características do modelo		Consumo de energia elétrica em kWh
Pleno	Tipo de Telhado	
Sim	Citta -Telhado	1.808.599
Sim	Lixo Citta –Telhado com mais ar	1.809.482
Não	Citta -Telhado	1.748.797
Não	Lixo Citta –Telhado com mais ar	1.744.131

Onde Citta –Telhado representa o telhado existente atualmente no edifício, e o Lixo Citta –Telhado com mais ar, significa o mesmo telhado acrescentando na última camada ar com 10,2cm ou mais, abaixo do concreto estrutural.

Pelo fato do telhado empregado ser bastante eficiente, nota-se que o acréscimo de uma camada de ar abaixo do concreto estrutural praticamente não interferiu em nada, o consumo de energia elétrica teve uma diferença mínima em torno de 0,05%, quando simulado com pleno. Curiosamente o consumo aumentou quanto foi inserida a camada de ar, provavelmente pelo fato de que o telhado já está na faixa de eficiência máxima, com a inércia térmica adequada.

Com a retirada do pleno o consumo de energia elétrica diminuiu. Comparando a situação existente, ou seja, teto com pleno e utilizando o Citta –Telhado, com o teto sem pleno e adotando o mesmo material Citta –Telhado, verifica-se uma diferença bem pequena por volta de 3,30%. Isto fez com que esta opção fosse adotada no modelo estudo de caso deste trabalho. Resolvido o telhado partiu-se para a cobertura.

Tabela 4.10: Modelo teste com janelas– comparativo de consumo de energia elétrica em função do teto do terceiro pavimento.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do VisDOE 2.61

Características do modelo		Consumo de energia elétrica em Kwh
Pleno	Tipo de Cobertura	
Sim	PISOFRIO - Citta	1.826.730
Sim	Lixo PISOFRIO - Citta	1.825.956
Não	PISOFRIO - Citta	1.942.267

Não	Lixo PISOFRIO - Citta	2.027.747

PISOFRIO – Citta representa o teto do terceiro pavimento (piso do terraço descoberto), utilizado para fazer a simulação. É constituído de piso cerâmico, argamassa de enchimento com 7cm e concreto estrutural de 16cm, como existente no edifício estudo de caso. E o Lixo PISOFRIO – Citta, utiliza o mesmo material com acréscimo de uma camada de poliestireno expandido de 3,8cm, abaixo destes materiais descritos anteriormente.

Como o consumo de energia elétrica subiu bastante, mesmo usando o Lixo PISOFRIO – Citta, em torno de 11%, testou-se várias outras composições até que se chegou a um valor bem próximo do real. O real representado neste modelo corresponde ao teto com pleno com o material descrito em PISOFRIO – Citta. Após a execução de diversas simulações concluiu-se que o novo material supriria a retirada do pleno de forma satisfatória, com uma pequena diferença (por volta de 1%) em relação ao original, que se fez necessária por limitações do programa. As características do material estão descritas no anexo C.

Resolvida esta etapa, o próximo passo foi modificar os dados inseridos no modelo original e adequá-los a essa nova realidade. Modificou-se o PISOFRIO – Citta na biblioteca do VisDOE na opção *Roof*. Com a retirada do pleno foi preciso diminuir a altura do pé direito nos andares, a fim de fazer com que a massa de ar a ser condicionada fosse mantida igual, o que foi feito conforme a tabela 4.11.

Tabela 4.11: Adaptação do modelo – comparativo de alturas dos pavimentos.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do VisDOE 2.61

Pavimento	Pé direito original	Altura do pleno	Novo pé direito
Subsolo	3,50	1,10	2,40
Térreo	3,89	1,10	2,79
Primeiro pavimento	3,50	1,10	2,40
Segundo pavimento	3,50	1,10	2,40

Terceiro pavimento	3,50	1,10	2,40
Telhado	2,80	——	2,80

Com os ajustes executados tentou-se fazer a simulação, porém não foi possível completá-la. Aconteceram mais quatro novos erros e cento e noventa e nove avisos indicando prováveis erros. Fez-se uma análise das várias páginas do relatório através do bloco de notas que mostra detalhadamente as informações. O primeiro erro referiu-se à propriedade de um dos materiais que foi negativa ou zero, o segundo, foi decorrente da falta dos dados do anterior, os outros dois erros, foram iguais aos primeiros relativos a outro material.

Todos os avisos referiam-se as janelas, indicando que estas eram muito altas ou não estavam bem posicionadas verticalmente alegando, por exemplo, valores de altura de peitoril 1.10m, das janelas com 1.30m e das molduras com 0,05m, valores que somados ficam maior que a altura de 2.40m do pé direito útil do pavimento. A identificação deste erro causou certa dificuldade, pois os dados não foram digitados desta forma. Do mesmo modo, ocorreram avisos de prováveis erros nas janelas no sentido horizontal, sempre que supostamente as medidas não eram compatíveis com a largura do vão.

Foram acertados estes novos itens, descritos nos dois parágrafos anteriores e a simulação rodou apresentando, porém problemas com relação ao sistema de condicionamento de ar. Esse sistema foi definido preliminarmente, sem compromisso de ser detalhado excessivamente, pois nesta fase o objetivo principal era a verificação dos dados de projeto, geometria e todos os outros já inseridos. Feito isso, partiu-se para os ajustes adequados e a correção dos erros do sistema de condicionamento de ar.

Após inúmeras tentativas e com apoio, via Internet, da equipe de suporte técnico do *software* no Brasil, concluiu-se que o problema encontrava-se na definição do sistema de condicionamento de ar. No *Systems Folder*, em *Assignments* foi escolhida a

opção *Custom*, e então todas as zonas estavam listadas com um sistema para cada zona existente neste edifício, estudo de caso. Sendo que algumas dessas zonas são não condicionadas e estavam devidamente agrupadas, mas não havia sido definido nenhum sistema para essas zonas. Portanto o programa acusava erro ao rodar, sendo compreensível, pois no *systems* é feita a definição do sistema de condicionamento de ar e para o programa essas zonas estavam com os dados incompletos.

Foi preciso definir um sistema com condições específicas para funcionamento, de modo com que nunca fosse usado. Utilizou-se um sistema do tipo aquecimento (*Floor Panel Heating*) conjugado com uma *schedule*, garantindo um sistema que nas condições de clima onde o edifício se encontra jamais seria usado, pois essas áreas na realidade não são condicionadas. Foi resolvido o problema sem acarretar nenhuma interferência no consumo final de energia elétrica.

Outro item de importância que mereceu uma análise mais aprofundada foi a central de água gelada, pois na situação real atende a todo o empreendimento e no caso simulado apenas a uma única edificação. Se fosse mantida a mesma configuração ficaria superdimensionada para o prédio, o que geraria uma ineficiência fictícia. Então procurou-se manter as características do *chiller*, da torre de água gelada, e do bombeamento primário, secundário e terciário, sendo que em proporções menores com muitos parâmetros sendo especificados pelo próprio programa, através da opção *Let Program Size*, como descrito anteriormente.

Tabela 4.12: Condições estabelecidas usadas no caso simulado de base após a calibração.
Fonte: Elaboração própria.

Descrição da Edificação
Tipo: comercial de serviços – escritório com climatização permanente artificial Número de andares: 5 Nos pavimentos tipo: Largura x Profundidade x Altura: 78 x 46 x 15,30m; Altura de piso a piso: 2,40m. Porcentagem de área envidraçada nas fachadas: 100% Prismas centrais: Largura x Profundidade x Altura: 8,20 x 10,20 x 15,30m

<table>
<tr><td colspan="2">Área total construída: 6.627m²</td></tr>
<tr><td colspan="2">Características Construtivas e dos Materiais de Acabamento</td></tr>
<tr><td colspan="2">Pisos Externos: pedra portuguesa predominantemente branca, asfalto nas pistas de veículos
Pisos Internos: cerâmica tipo porcelanato com brilho cor bege claro e detalhes em granito bege (térreo); carpete cinza escuro (andares tipo); cerâmica cor clara (terraço da cobertura).
Paredes Externas: pano de vidro, com vidro laminado refletivo verde 6mm, esquadria de alumínio anodizado preto e viga invertida com 1m de altura pintada de preto com tinta impermeabilizante, por trás do vidro da fachada; parede de alvenaria (tijolo, emboço e reboco) cor bege claro ou branco; bloco de concreto cor clara.
Paredes Internas: vidro comum 4mm; divisória em gesso acartonado; parede de alvenaria; parede de toldo. Todos de cor clara.
Teto: gesso cor branco na espessura de 3mm
Vidros das janelas: laminado refletivo verde 6mm; U=4.90 W/m2°C; CS= 0.23; LT=0.08
Telhado: sanduíche de telha de alumínio preenchido internamente com poliuretano expandido, por cima da laje com isopor e pintura asfáltica.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Condições Inerentes ao Uso do Espaço</td></tr>
<tr><td>Avg. Occupant density:</td><td>8.73m2/pessoa
(1,11 pessoas /m2)</td></tr>
<tr><td>Expediente de Trabalho:</td><td>8:00 às 17:00hs e 24hs (CPD, monitoria e recepção)</td></tr>
<tr><td>Schedule de Trabalho:</td><td>100% horário de trabalho, 50% meia hora antes e depois
Fins de semana 25% sábado e 5% domingo</td></tr>
<tr><td>Lighting Use Intensity (W/m2):</td><td>7.82</td></tr>
<tr><td>Schedule de Iluminação:</td><td>7:30 às 17:30hs</td></tr>
<tr><td>Equipment use intensity (W/m2):</td><td>17.18</td></tr>
<tr><td>Schedule dos Equipamentos:</td><td>7:30 às 12:00hs e 12:35 às 17:15hs</td></tr>
<tr><td>Infiltração de ar:</td><td>0,20 air-change/hr</td></tr>
<tr><td colspan="2">Condicionamento do Ar – Sistemas e Controles</td></tr>
<tr><td>Tipos de Sistemas:</td><td>Fancoil (TPFC) com Chilled water pump type: fixed – speed, chilled water temperature 6.7°C, chiller type media eficiencia with Water-cooled Condensor, Cooling Tower Efficiency (KW/(Cap. KW))=.0027; split (SZRH); self contained (PSZ); e não condicionado (FPH - aquecimento).</td></tr>
<tr><td>Temp. para ligar o Aquecimento:</td><td>-4°C</td></tr>
<tr><td>Schedule de Aquecimento:</td><td>All Year Workdays 7:00 às 18:00hs</td></tr>
<tr><td>Temperatura de Resfriamento:</td><td>24°C</td></tr>
<tr><td>Schedule de Resfriamento:</td><td>All Year Workdays 7:00 às 18:00hs e 24hs (CPD)
7:00 às 18:00hs</td></tr>
<tr><td>Schedule da Ventilação Mecânica:</td><td>On during working hours</td></tr>
<tr><td>Taxa de renovação de ar/pessoa:</td><td>27 m3/h/pessoa ou 7,5 l/s</td></tr>
<tr><td colspan="2">Equipamentos de Uso Comum</td></tr>
<tr><td colspan="2">Potência dos Elevadores: 1,13 Kw
Schedule dos Elevadores: 8:00 às 17:00 hs
Obs.: O consumo de energia para aquecimento da água foi computado em equipamentos, pois é feita por resistência elétrica.</td></tr>
</table>

A tabela 4.12 indica as condições estabelecidas usadas no caso simulado de base após a calibração do modelo.

Após a simulação ter sido concluída com sucesso, partiu-se para a conferência dos dados dos relatórios emitidos, a fim de verificar se todos os itens haviam sido imputados de forma adequada, se o prédio real estava bem representado no programa e

os consumos estavam coerentes. Após a conclusão desta etapa, partiu-se para a definição do potencial de economia de energia elétrica no edifício.

5.5 ANÁLISE DA SITUAÇÃO ATUAL E ESTABELECIMENTO DE PARÂMETROS PARA CARATERIZAÇÃO DO PRÉDIO EFICIENTE EM TERMOS DE UMA ARQUITETURA SUSTENTÁVEL – EFEITOS DA APLICAÇÃO DE VARIAÇÕES PARAMÉTRICAS – SIMULAÇÕES

As áreas envidraçadas existentes no pavimento térreo possuem alguma proteção externa devido à projeção do pavimento tipo, diminuindo o ganho térmico por radiação solar direta. Contudo, pelo fato de uma grande área do bloco A, onde se situa o museu, a copa e espaço de convívio da empresa se encontrarem praticamente desocupadas, ou possuírem pouca utilização, o desligamento do sistema de condicionamento de ar, nesses casos na maioria dos meses, não provocará desconforto térmico.

Com relação aos elevadores, nota-se serem mais modernos que os tradicionais. São dotados de sistemas que registram a chamada apenas para o elevador mais próximo do andar solicitante, evitando a duplicidade de chamadas. A partida da cabina é feita com a potência necessária para atender a carga específica.

O *layout* da empresa situa as áreas de atendimento ao público, prestadores de serviço e recebimento de mercadorias no térreo, evitando o uso de elevadores para estes fins. Ainda assim, poderia haver uma diminuição no consumo se fossem instalados comandos eletrônicos ligando a iluminação e a ventilação da cabina apenas quando os elevadores estiverem sendo utilizados, promovendo uma economia ainda maior de energia elétrica.

O sistema de iluminação existente atualmente no edifício possui uma adequada manutenção dos equipamentos. As lâmpadas são em sua maioria fluorescentes compactas ou tubulares com boa eficiência luminosa. As cores utilizadas nos

mobiliários e paredes são claras, refletindo bem a luz. As divisórias do ambiente de trabalho são baixas, reduzindo a absorção de luz e permitindo o uso da luz nas áreas adjacentes. Estes aspectos estão tecnicamente corretos, embora outros, enumerados adiante, não estejam sendo utilizados da melhor forma possível.

A iluminação natural aparentemente não foi contemplada no projeto de iluminação artificial, não foram previstos a utilização de reatores dimerizáveis para regulagem do fluxo luminoso ao longo do dia. Os circuitos de iluminação são os mesmos tanto para a área periférica, próxima as fachadas, quanto para o interior. Os dois prismas de ventilação e iluminação internos, um em cada bloco, não estão sendo aproveitados para sua função básica, já que as circulações encontram-se fechadas com vidro e são iluminadas e condicionadas artificialmente.

Estes prismas, como são abertos na cobertura fornecem iluminação zenital. Este tipo de solução permite o aproveitamento da iluminação natural em ambientes interiores, porém muitas vezes aumenta o ganho térmico nas superfícies que estão expostas a radiação solar direta. No vazio central é possível o desligamento da iluminação artificial na maioria dos dias de trabalho, o que permite grande economia de energia elétrica.

Há poucos interruptores comandando as luminárias das estações de trabalho, isto significa que existe um desperdício de energia elétrica com iluminação, principalmente quando o edifício está sendo utilizado por alguma equipe fora dos horários padrões. Nestes casos permanecem ligadas diversas luminárias sem uma real necessidade. Além de acarretar um excesso de carga sobre os equipamentos de ar condicionado.

Quanto ao condicionamento de ar, o ajuste do termostato nas salas para ter 24°C está em conformidade com a norma brasileira ABNT 6401. Segundo a referida norma, a temperatura de conforto é de 23°C a 26°C. A infiltração de ar externo praticamente não

ocorre em função das esquadrias das fachadas serem fixas não permitindo abertura. O mesmo não pode ser dito com relação aos acessos aos elevadores e escada de incêndio, já que são áreas não condicionadas, trazendo um aumento de carga térmica para o sistema, embora exista porta de vidro nos pavimentos, exceto no térreo.

O sistema de condicionamento de ar que opera 24 horas para a central de computadores (CPD) é dedicado e feito para trabalhar continuamente, a fim de atender aquela carga térmica específica, não obrigando o funcionamento de um sistema maior. As áreas de fumantes são segregadas e não condicionadas, pois são externas, portanto não causam um aumento na vazão de ar de renovação. Todas estas medidas reduzem o consumo de energia elétrica.

O sistema de condicionamento de ar predominante no edifício analisado, feito por aparelhos *fancoils* é adequado, pois são praticamente unidades ventiladoras da água gelada que vem dos resfriadores ou *chillers* da central de água gelada. Os equipamentos da central de água gelada são relativamente novos e eficientes.

Quando se analisa uma edificação com opção global pela climatização permanente artificial desde sua concepção, assume-se que a fonte geradora de conforto higrotérmico está sendo gerada no interior do prédio, e neste caso, a diretriz mais importante do projeto relaciona-se à proteção desta edificação contra o clima exterior. Pois sem esta consideração, a energia elétrica para condicionamento do ar será superior à necessária em função das perdas provocadas pelas características das paredes externas e cobertura, pelo ganho térmico especialmente no verão vindo da radiação solar, através das superfícies envidraçadas não sombreadas, entre outros, que o sistema é incapaz de retirar (BARROSO-KRAUSE et al, 2002).

Parâmetros básicos tais como, proteção externa do envelope construtivo quanto à incidência direta dos raios solares em clima quente, como o do Rio de Janeiro, e

isolamento de vidros e fachadas opacas com relação à perda de temperatura, pela troca com o clima exterior, devem nortear o projeto. No estudo de caso deste trabalho, alguns dos parâmetros preconizados visando obter um melhor desempenho térmico da edificação foram utilizados em detrimento de outros. Houve preocupação quanto ao envelope construtivo, inclusive como foi mencionado anteriormente, as esquadrias não abrem para o exterior.

Qualquer que seja o partido arquitetônico, materiais empregados, soluções escolhidas, todos os itens utilizados na edificação, terão uma conseqüência direta na eficiência energética da mesma. Visando quantificar o desempenho energético de determinadas medidas adotadas na edificação, estudo de caso deste trabalho, e compará-las com outras opções que poderiam ter sido empregadas, foram desenvolvidas as simulações.

Para proceder às simulações separaram-se as modificações em cinco cenários, são eles: alterações de cobertura no edifício existente; alterações de fachada no edifício existente; mudança de orientação solar do edifício existente, outras alterações no edifício existente e alternativas combinadas. Deste modo, a partir do caso modelo foram realizadas simulações com o intuito de identificar a sensibilidade da edificação estudada quanto a diversas alterações. Algumas delas são simples de serem adotadas e outras mais complexas. As alternativas podem ser implementadas em futuros projetos, de acordo com a análise particular de cada caso específico por parte da equipe projetista.

Inicialmente foram executadas simulações testando cada item individualmente, objetivando quantificar a representatividade de cada medida. Posteriormente, adotaram-se medidas combinadas, para verificar o desempenho energético da edificação quando várias medidas são adotadas simultaneamente. Sabe-se que o somatório da economia gerada por cada medida feita individualmente não representa o mesmo valor de quando

elas são adotadas simultaneamente, pois um item interfere no outro, o tratamento não é linear.

É preciso consultar o anexo C, com a biblioteca construtiva, para obter-se a descrição detalhada dos materiais construtivos empregados nas simulações. Nas tabelas que se seguem, relativas a cada simulação, são apresentados apenas os itens que sofreram modificação em seu valor em função da simulação de determinada medida, sempre comparados ao caso base, e o total do consumo de energia elétrica anual. No final de cada cenário foi feito um gráfico e uma tabela mostrando quanto de economia foi conseguido no consumo de ar condicionado e no total de energia elétrica da edificação, com a adoção das medidas simuladas.

Para verificar o consumo representado por todos os usos finais deve-se consultar o anexo H, que apresenta o relatório *Results* do VisualDOE. Os usos finais listados pelo referido relatório são iluminação, equipamentos, *chillers*, torre, motores, ventiladores, iluminação externa, equipamentos externos e totais dos consumos.

5.5.1 **Cenário 1 - Alterações de cobertura no edifício existente**

Neste cenário são feitas simulações do modelo base, após calibração, com alterações de cobertura no edifício existente (gráfico 4.4 e tabela 4.20).

1° Simulação - Proteção externa com toldo horizontal dos prismas centrais: aplicada no prisma de iluminação e ventilação de ambos os blocos com o objetivo de diminuir a radiação solar direta. Utilizou-se com *exterior shadiing* um sombreamento externo horizontal, sobre os prismas centrais dos blocos A e B, como se fosse um toldo, com características técnicas de *visible reflectance* de .5 e *graund reflectance* de .2, e espaço de ar com aproximadamente 2m. O fechamento não é estanque, o ar continua

entrando e saindo. Conseguiu-se com esta medida uma economia de 2,23% em relação ao caso base.

Tabela 4.13: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e proteção externa para prismas centrais.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do VisDOE 2.61

Alternativas	*Cooling*	Torre	Bombas	Ventiladores	Total
Caso base	495.889	75.381	56.041	150.933	1.251.878
Proteção externa prismas centrais	477.158	72.886	54.203	145.972	1.223.853

2° Simulação - Colocação de pérgulas de 2,50m com vegetação no terraço da cobertura: pérgulas de concreto afastadas de 50 em 50cm, com profundidade de 2,50m e utilização de vegetação perene sobre as mesmas. Esta opção foi feita com *exterior shading*, ou seja, é um sombreamento com características técnicas de *visible reflectance* .5 e *graund reflectance* de .2. Com esta medida obteve-se 2,65% de economia de energia elétrica.

Tabela 4.14: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e colocação de pérgulas com vegetação no terraço cobertura.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do VisDOE 2.61

Alternativas	*Cooling*	Torre	Bombas	Ventiladores	Total
Caso base	495.889	75.381	56.041	150.933	1.251.878
Colocação de pérgulas de 2,50m no terraço cobertura	473.829	72.489	53.905	144.691	1.218.548

3° Simulação - Pérgulas 4m terraço da cobertura: pérgulas de concreto afastadas de 50 em 50cm, com profundidade de 4,00m e utilização de vegetação perene sobre as mesmas. Utiliza as mesmas características da anterior, apenas aumentou-se a profundidade do pergulado. Conseguiu-se reduzir o consumo de energia elétrica anual em torno de 3,98%.

Tabela 4.15: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e pérgulas 4m terraço da cobertura.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do VisDOE 2.61

Alternativas	*Cooling*	Torre	Bombas	Ventiladores	Total
Caso base	495.889	75.381	56.041	150.933	1.251.878
Pérgulas 4m terraço da cobertura	463.001	71.077	52.869	141.410	1.201.991

4° Simulação - Substituição da telha do telhado da cobertura por cobertura naturada (vegetação): o telhado da casa de máquinas dos elevadores não tem nenhuma proteção, é apenas uma laje em concreto (concreto-citta), porém a área é muito pequena. Já, o telhado da cobertura (citta-telhado) é bastante eficiente, mas executou-se esta simulação a fim de compará-lo a uma cobertura vegetal (concreto e veget-citta), verificando-se o consumo de energia elétrica em função desta opção.

Enfatiza-se que o resultado encontrado na simulação é menos eficiente do que na realidade se encontraria, pois os dados utilizados para vegetação são os de terra úmida, conforme descrito na tabela 4.16, não considerando-se todas as interações do vegetal com a radiação solar. A absortância do vegetal foi definida com 40% e rugosidade 1. Esta medida teve um efeito praticamente nulo.

Tabela 4.16: Dados técnicos da terra úmida.
Fonte: Elaboração própria a partir de Cadernos do PROARQ 6

Massa Específica (Kg/m3)	1800
Condutividade (W/m/°C)	0,580
Calor Específico (j/KG/°C)	1460
Difusifidade (10^{-}7 m2/s)	2,21
Efusividade (J/°C/m²/s½)	1230

Tabela 4.17: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e substituição telha do telhado e da cobertura por vegetação.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do VisDOE 2.61

Alternativas	*Cooling*	Torre	Bombas	Ventiladores	Total
Caso base	495.889	75.381	56.041	150.933	1.251.878
Substituição telha do telhado da cobertura por vegetação	496.625	75.308	55.979	150.165	1.251.711

5° Simulação - Substituição do piso da cobertura em cerâmica por cobertura naturada: o terraço descoberto da cobertura é uma grande área em torno de 1184.000m², exposto ao clima com radiação solar direta a maior parte do ano. A sugestão é fazer um grande gramado com composições de forrações e arbustos próximos as fachadas, melhorando também o desempenho termo energético das superfícies verticais deste pavimento.

A horizontalidade da edificação cria a necessidade de um bom isolamento térmico no terraço da cobertura. A carga térmica proveniente dessas áreas expostas ao tempo é bastante significativa, para reduzir estes ganhos devem-se introduzir materiais isolantes térmicos com alta resistência térmica. Devido ao fato do empreendimento ter como uma de suas características o paisagismo com extenso uso de vegetação nos *malls* do shopping e no Parque da Restinga próximo ao empreendimento, foi feita uma simulação substituindo o piso em cerâmica clara do terraço da cobertura por vegetação.

Foram utilizados os dados de terra úmida fornecidos pela tabela 4.16 e a mesma absortância e rugosidade definida na quarta simulação. Substituiu-se o pisofrio-citta por concreto e veg. + ar citta.

Destaca-se que o resultado encontrado, menos de 1%, está levemente subestimado, devido às limitações dos dados de vegetação e, neste caso, agravado pelo fato de ter sido colocado camada de ar abaixo desta laje, para substituição do pleno. Fato descrito anteriormente, em que foi preciso colocar a camada de ar para compensar

a retirada do forro com pleno, necessária para evitar erro por excesso de superfícies externas.

Tabela 4.18: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e substituição piso cobertura - vegetação
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do VisDOE 2.61

Alternativas	*Cooling*	Torre	Bombas	Ventiladores	Total
Caso base	495.889	75.381	56.041	150.933	1.251.878
Substituição piso da cobertura em cerâmica por vegetação	492.449	74.568	55.425	149.250	1.245.326

6° Simulação – Inclusão de duas placas de isopor na laje de piso da cobertura: substituição da laje da cobertura pisofrio-citta pelo pisofrioefic-citta. A principal modificação em sua composição foi o acréscimo de isopor em placa com 10cm de expessura acima e abaixo da laje, coberto com argamassa de cimento de 2cm em ambos os lados, com camada de ar abaixo da laje. Esta modificação proporciona uma redução de 0,54% no consumo de energia elétrica do edifício.

Foi feita a simulação substituindo o piso da cobertura, principalmente pelo fato do terraço ser descoberto e exposto à radiação solar direta, por um mais eficiente. O piso existente é composto de contrapiso de 5cm revestido com cerâmica antiderrapante externamente e laje estrutural de concreto armado com 10cm cor clara. Internamente possui teto com *plenum* para retorno do ar condicionado. A modificação proposta acrescenta em sua composição, uma placa de isopor acima e uma abaixo da laje, com argamassa de cimento de 2cm em ambos os lados.

Tabela 4-19: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e substituição da laje da cobertura
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do VisDOE 2.61

Alternativas	*Cooling*	Torre	Bombas	Ventiladores	Total
Caso base	495.889	75.381	56.041	150.933	1.251.878

Substituição da laje da cobertura	492.193	74.551	55.408	149.234	1.245.020

Tabela 4-20: Resultados das alternativas de coberturas simuladas no VisualDOE
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do VisDOE 2.61

Caso Base		
Alternativas	**Redução/Acréscimo**	
	% Ar Cond.	**% Total**
Inclusão de duas placas de isopor na laje de piso de cobertura	-0,87%	-0,54%
Substituição do piso da cobertura por cobertura naturada	-0,83%	-0,51%
Colocação de pérgulas de 2,5m no terraço da cobertura	-4,27%	-2,65%
Colocação de pérgulas de4m no terraço da cobertura	-6,40%	-3,98%
Substituição da telha do telhado da cobertura por cobertura naturada	-0,01%	0,00%
Proteção externa com toldo horizontal dos prismas centrais	-3,59%	-2,23%

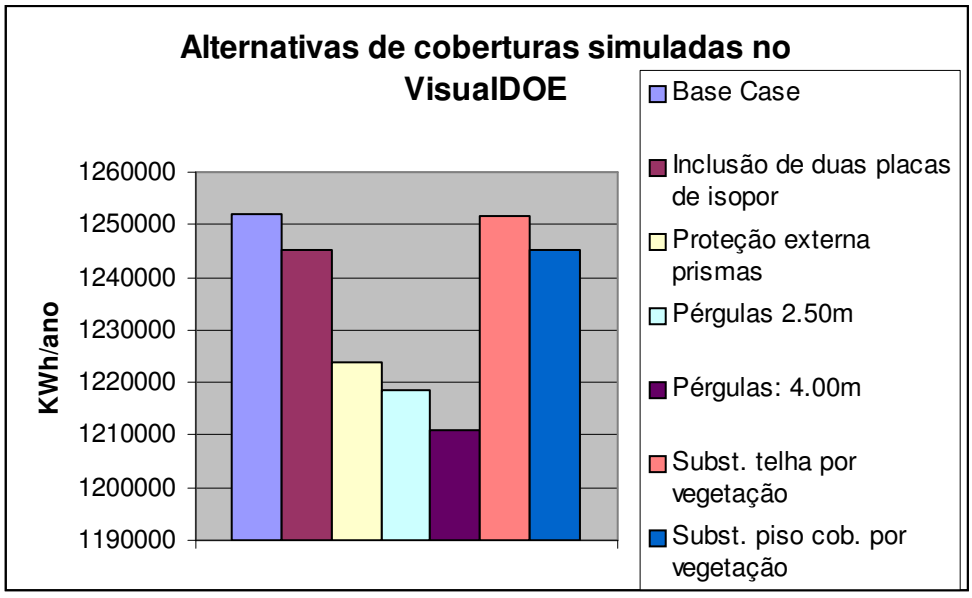

Gráfico 4.4: Gráfico de barras representando os consumos de energia elétrica KWh entre *base case* e as alterações de coberturas no edifício existente desagrupadas.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do VisDOE 2.61

5.5.2 **Cenário 2 – Alterações de fachada no edifício existente**

Optou-se por fazer simulações com sombreamentos externos, são elas: a inclusão de árvores para sombreamento das fachadas nordeste e noroeste, que foram escolhidas por apresentarem grande incidência solar direta e por serem pouco protegidas por árvores ou edificações vizinhas (o edifício é baixo, em torno de 15m, por isso a

opção de sombrear com árvores externas); uso de *brises* com fator solar de 0,14 em todas as fachadas.

Mais outras simulações foram realizadas substituindo o pano de vidro existente por diferentes tipos de vidros duplos com ar, com argônio e o vidro simples. Tendo como objetivo comparar as economias geradas em função das características térmicas dos mesmos. Desta forma, simulou-se a substituição do vidro existente pelos vidros cujas características técnicas estão descritas na tabela 4.23.

Decidiu-se realizar simulações com dois tipos de envelopes construtivos. O primeiro, como no caso base com fachadas totalmente envidraçadas. O segundo, foi desenvolvido como uma fachada padrão, composta de parede de alvenaria de tijolos com janelas com a seguinte composição: 60% construída com tijolos, pintadas em cor clara interna e externamente, e os restantes 40% com janelas (material tradicionalmente usado nas composições de fachadas no Rio de Janeiro). Ambos os edifícios foram climatizadas artificialmente. Executaram-se seis simulações no segundo tipo de envelope do edifício. Nelas foram testadas diferentes composições entre vidros, materiais de construção e trocas de ar (para simular comportamento com as janelas fechadas ou parcialmente abertas). O gráfico 4.5 e a tabela 4-32 mostram as simulações desenvolvidas no cenário 2.

7° Simulação - Instalação de películas plásticas nas fachadas: na pele de vidro das fachadas e interior dos prismas, a fim de verificar se a redução é significativa na conta de energia. Posteriormente seria feita uma simulação para verificar a influência deste item na utilização da luz natural, opção com *dimmer*.

Esta opção foi descartada, pois no programa não existe película para colocação em vidro. O que se faz é identificar junto ao fabricante os dados técnicos da película

quando aplicada ao vidro, ou seja, os dados do conjunto. De posse desta informação, procura-se um vidro correspondente, na biblioteca do programa, para ser utilizado. Os fatores solares encontrados pelas películas existentes no mercado, reflexiva 0,25-0,50 e absorvente 0,40-0,5034, não convinham serem utilizados, pois este vidro já é reflexivo e possui elevada eficiência térmica.

8° Simulação - Árvores sombreamento das fachadas: colocação de mais árvores para sombreamento externo das fachadas, especialmente relevante nas fachadas com maior incidência solar. As árvores utilizadas devem ter copa densa e que se mantenham durante todo o ano, plantadas no calçamento externo. Esta medida representa uma economia de 1,85%.

Tabela 4-21: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e árvores sombreamento das fachadas
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do VisDOE 2.61

Alternativas	*Cooling*	Torre	Bombas	Ventiladores	Total
Caso base	495.889	75.381	56.041	150.933	1.251.878
Árvores sombreamento das fachadas	479.493	73.553	54.714	147.272	1.228.666

Na seqüência foram feitas simulações utilizando diferentes composições de vidros e de espaçamento para camada de ar ou argônio entre eles, pois são diversas as possibilidades de combinações destes materiais existentes no mercado da construção civil, no Rio de Janeiro. Devido ao vidro ser relativamente bastante empregado na arquitetura de edifícios comerciais, justifica-se a execução destas simulações com fins de verificar seu desempenho energético.

A utilização de fachadas vidro insulado, também denominado vidro duplo ou termoacústico, caracteriza-se por ser um sistema composto por duas ou mais peças de

[34] Lamberts, 1997

vidros, intercaladas por uma câmara de ar desidratado ou argônio, coladas a um perfil de alumínio, duplamente vedados. Objetivando a melhoria do conforto térmico e acústico, pois, aproveita a luz natural, com bloqueio do calor proveniente da radiação solar e redução de ruídos, proporcionando assim uma melhoria no desempenho termo energético e acústico do edifício.

Da nona à vigésima simulação todas utilizaram diferentes vidros nas fachadas, e encontram-se listadas abaixo.

Pode-se observar na tabela 4.22 o desempenho termo-energético dos vidros simulados. Determinados vidros duplos chegam a piorar o consumo de energia elétrica, se comparados ao vidro SS08 utilizado na fachada do edifício em estudo, que não é duplo. A pior situação foi do vidro laminado cristal de 6mm correspondendo a um aumento de 11,78%. Já, a melhor resposta foi conseguida com o vidro claro SS08 duplo com camada de argônio separando um do outro, representando uma economia de 1,88% com relação ao caso base. As características técnicas dos vidros simulados encontram-se na tabela 4.23.

Tabela 4.22: Comparativo consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e as simulações 9° à 20°
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do VisDOE 2.61

Sim	Alternativas	Camada	*Cooling*	Torre	Bomba	Ventil.	Total
1	Caso base	___	495.889	75.381	56.041	150.933	1.251.878
9°	*Double clear LR13*	ar	498.733	75.316	55.972	149.424	1.253.079
10°	*Double clear LR13 Argon*	argônio	496.035	74.935	55.682	148.314	1.248.600
11°	*Double clear SS08*	ar	484.700	73.699	54.784	145.598	1.232.415

12°	*Double clear SS08 Argon*	argônio	482.272	73.368	54.543	144.582	1.228.399
13°	*Double Low-e (e2=.04) clear IG*	ar	526.654	78.088	57.974	155.283	1.291.633
14°	*Double Low-e (e2=.04) tint IG*	ar	523.282	77.938	57.873	155.750	1.288.477
15°	*Double ref A clear L IG*	ar	490.306	74.512	55.392	147.941	1.241.785
16°	*Double Tint Low-e 1 Argon* 6/12/6mm	argônio	524.601	77.697	57.685	154.297	1.287.914
17°	*Double Tint Low-e 4 Argon* 6/12/6mm	argônio	508.406	75.812	56.298	149.296	1.263.446
18°	*Double Tint LR13 Argon*	argônio	500.092	75.379	56.014	149.499	1.254.618
19°	*Double Tint SS08 Argon*	argônio	493.413	74.597	55.435	147.637	1.244.716
20°	Vidro Laminado 6mm	____	593.668	86.907	64.496	180.665	1.399.370

Tabela 4.23: Dados Técnicos dos vidros simulados.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do VisDOE 2.61

	Emissivity		*Tickness* mm	*Gap Thick*	*SC*[35]	*LT*[36]	*U-factor*
	Front	Back					
Single clear SS08 (base case)	0,84	0,40	6	-	0,23	0,08	4,90
Double clear LR13	0,84	0,43	6 / 6	12,7	0,20	0,119	2,30
Double clear LR13 *Argon*	0,84	0,84	6 / 6	12,7	0,20	0,119	2,07

[35] SC: *Shading Coeficient*
[36] LT: *Light Transmission*

Double clear SS08	0,84	0,84	6 / 6	12,7	0,15	0,073	2,26
Double clear SS08 *Argon*	0,84	0,84	6 / 6	12,7	0,14	0,073	2,02
Double Low-e (e2=.04) clear IG	0,84	0,40	3 / 6	6,3	0,48	0,682	1,66
Double Low-e (e2=.04) tint IG	0,84	0,84	6 / 6	6,3	0,35	0,407	2,34
Double ref A clear L IG	0,84	0,40	6 / 6	6,3	0,17	0,073	2,79
Double Tint Low-e 1 Argon 6/12/6mm	0,84	0,10	6 / 6	12,7	0,43	0,442	1,46
Double Tint Low-e 4 Argon 6/12/6mm	0,84	0,04	6 / 6	12,7	0,32	0,407	1,32
Double Tint LR13 Argon	0,84	0,43	6 / 6	12,7	0,18	0,0073	2,07
Double Tint SS08 Argon	0,84	0,41	6 / 6	12,7	0,15	0,045	2,04
Vidro Laminado 6mm	0,84	0,84	3 / 3	-	0,95	0,881	6,17

21° Simulação - *Brises* verticais em vidro fachada Norte: com espaçamento de 50 em 50cm para sombreamento externo na fachada Norte, cobrindo a extensão dos pavimentos tipos. Iniciando do piso do primeiro pavimento ao teto do segundo pavimento. Esta medida representa uma economia de 0,47%.

Tabela 4.24: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e *brises* verticais em vidro fachada Norte
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do VisDOE 2.61

Alternativas	*Cooling*	Torre	Bombas	Ventiladores	Total
Caso base	495.889	75.381	56.041	150.933	1.251.878
Brises verticais em vidro fachada Norte	491.708	74.928	55.709	150.014	1.245.993

O sombreamento externo é mais eficaz que o interno, móvel ou não, pelo fato de reter o calor antes que esse penetre na edificação. Assim sendo, os *brises* são mais eficientes termicamente que as persianas e as películas. O *brise* com regulagem manual consiste em uma solução muito interessante para a redução de radiação direta que não é desejável, pode refletir a luz visível e direcioná-la para o interior da edificação. Cabe observar que o *brise* deve ser instalado com suas venezianas na posição vertical, pois simplifica sua regulagem ficando menos sujeito à movimentação do sol ao longo do dia.

22° Simulação - Alvenaria com 40% de vidro incolor 6mm: esta opção preconiza uma mudança grande na arquitetura do edifício, no lugar da pele de vidro da

fachada, utiliza-se um sistema construtivo constituído de vidro comum em 40% da área de todas as fachadas e 60% de parede de alvenaria de tijolos, com pintura clara interna e externamente e infiltração de ar de .20 trocas por hora. O consumo de energia elétrica aumentou em 2,07% (tabela 4.23).

Tabela 4.25: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e alvenaria com 40% de vidro incolor 6mm
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do VisDOE 2.61

Alternativas	*Cooling*	Torre	Bombas	Ventiladores	Total
Caso base	495.889	75.381	56.041	150.933	1.251.878
Alvenaria com 40% de vidro incolor 6mm	513.142	77.713	57.761	154.874	1.277.124

23° Simulação – Alvenaria 40% de vidro incolor 6mm .40 infiltração de ar: a única diferença em relação a vigésima segunda simulação está relacionada a infiltração de ar, que neste caso é de .40 trocas por hora. O consumo de energia elétrica aumentou em 2,00 % com relação ao caso base (tabela 4.26).

Tabela 4.26: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e alv. 40% de vidro incolor 6mm .40 infiltr.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do VisDOE 2.61

Alternativas	*Cooling*	Torre	Bombas	Ventiladores	Total
Caso base	495.889	75.381	56.041	150.933	1.251.878
Alv. 40% de vidro incolor 6mm .40 infiltr.	512.764	77.695	57.752	154.874	1.276.719

24° Simulação - Tijolo + isopor 40% de vidro incolor 6mm: esta opção é similar à vigésima segunda simulação diferenciando apenas o material das paredes, foi acrescentado placas de isopor, na face interna, com argamassa armada para sustentação. Os materiais das paredes apresentam as seguintes composições e especificações técnicas nesta simulação:

Tabela 4.27: Dados técnicos da parede PARALV efic

Fonte: Elaboração própria a partir de Cadernos do PROARQ 6

Parede	Espessura (m)	λ: (W/m/°C)	ρ: (kg/m³)	c: (j/kg°C)
Pintura clara externa α: 40%	_____	_____	_____	_____
Argamassa de cimento	0,025	1,130	2000	800
Tijolo furado	0,100	0,670	1250	880
Isopor	0,050	0,032	15	1200
Argamassa armada de cimento	0,020	1,500	2200	1000
Pintura clara interna α: 40%	_____	_____	_____	_____

Tabela 4.28: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e tijolo + isopor 40% de vidro incolor 6mm
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do VisDOE 2.61

Alternativas	*Cooling*	Torre	Bombas	Ventiladores	Total
Caso base	495.889	75.381	56.041	150.933	1.251.878
Tijolo + isopor 40% de vidro incolor 6mm	520.751	78.043	57.965	153.562	1.283.955

Causou estranheza o fato desta simulação utilizando isopor internamente, com isolamento de paredes, ter apresentado um aumento no consumo de energia elétrica anual do edifício com relação à parede de tijolos comum, este aumento está em torno de 0,53%. E com relação ao caso base em 2,56%.

25° Simulação – Isopor + tijolo 40% de vidro incolor 6mm: esta opção é similar à vigésima quarta simulação diferenciando apenas a posição das placas de isopor, que nesta simulação foi colocado na face externa da parede. Utiliza os mesmos materiais nas paredes. Pode representar um aumento no consumo de energia elétrica por volta de 2,2% anuais, se comparada com o caso base.

Tabela 4.29: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e Isopor + tijolo 40% de vidro incolor 6mm
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do VisDOE 2.61

Alternativas	*Cooling*	Torre	Bombas	Ventiladores	Total
Caso base	495.889	75.381	56.041	150.933	1.251.878
Isopor + tijolo 40% de vidro	517.817	77.707	57.719	152.544	1.279.421

incolor 6mm					

26° Simulação - Alvenaria com 40% de vidro SS08: como na vigésima segunda simulação, a diferença está no vidro adotado. Nesta simulação é utilizado o mesmo vidro empregado nas fachadas do caso base. Utiliza-se um sistema construtivo constituído de vidro eficiente *Single clear* SS08 (veja tabela 4.23 com as características técnicas do vidro) em 40% da área de todas as fachadas e 60% de parede de alvenaria de tijolos, com pintura clara interna e externamente e infiltração de ar de .20 trocas por hora. O consumo de energia elétrica diminuiu em 3,11%, conforme tabela 4.30.

Tabela 4.30: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e alvenaria com 40% de vidro SS08
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do VisDOE 2.61

Alternativas	*Cooling*	Torre	Bombas	Ventiladores	Total
Caso base	495.889	75.381	56.041	150.933	1.251.878
Alvenaria com 40% de vidro SS08	470.014	73.344	53.824	143.093	1.212.909

27° Simulação - Isopor + tijolo com 40% de vidro SS08: como na vigésima sexta simulação, a diferença está no acréscimo de placa de isopor com 5cm de expessura posicionada externamente as paredes das fachadas. O consumo de energia elétrica diminuiu em 3,32%, conforme tabela 4.31.

Tabela 4.31: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e isopor + tijolo com 40% de vidro SS08
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do VisDOE 2.61

Alternativas	*Cooling*	Torre	Bombas	Ventiladores	Total
Caso base	495.889	75.381	56.041	150.933	1.251.878
Isopor + tijolo com 40% de vidro SS08	470.628	72.020	53.550	140.442	1.210.274

Tabela 4.32: Indica as alternativas de fachadas simuladas no VisualDOE bem como seus resultados
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do VisDOE 2.61

Caso Base		
Alternativas	Redução/Acréscimo	
	% Ar Cond.	% Total
Árvores sombreamento das fachadas	-2.97%	-1.85%
Substituição do vidro existente por vidro *Double clear LR13*	0.15%	0.10%
Substituição do vidro existente por vidro *Double clear LR13 Argon*	-0.42%	-0.26%
Substituição do vidro existente por vidro *Double clear SS08*	-2.50%	-1.55%
Substituição do vidro existente por vidro *Double clear SS08 Argon*	-3.02%	-1.88%
Substituição do vidro existente por vidro *Double Low-e (e2=.04) clear IG*	5.11%	3.18%
Substituição do vidro existente por vidro *Double Low-e (e2=.04) tint IG*	4.70%	2.92%
Substituição do vidro existente por vidro *Double ref A clear L IG*	-1.30%	-0.81%
Substituição do vidro existente por vidro *Double Tint Low-e 1 Argon* 6/12/6mm	4.63%	2.88%
Substituição do vidro existente por vidro *Double Tint Low-e 4 Argon* 6/12/6mm	1.49%	0.92%
Substituição do vidro existente por vidro *Double Tint LR13 Argon*	0.35%	0.22%
Substituição do vidro existente por vidro *Double Tint SS08 Argon*	-0.92%	-0.57%
Substituição do vidro existente por vidro laminado 6mm	18.95%	11.78%
Brises verticais em vidro fachada Norte	-0.76%	-0.47%
Alvenaria com 40% de vidro incolor 6mm	3.24%	2.07%
Alv. 40% de vidro incolor 6mm .40 infiltr.	3.19%	2.00%
Tijolo + isopor 40% de vidro incolor 6mm	4.12%	2.56%
Isopor + tijolo 40% de vidro incolor 6mm	3.54%	2.20%
Alvenaria com 40% de vidro SS08	-4.88%	-3.11%
Isopor + tijolo com 40% de vidro SS08	-5.35%	-3.32%

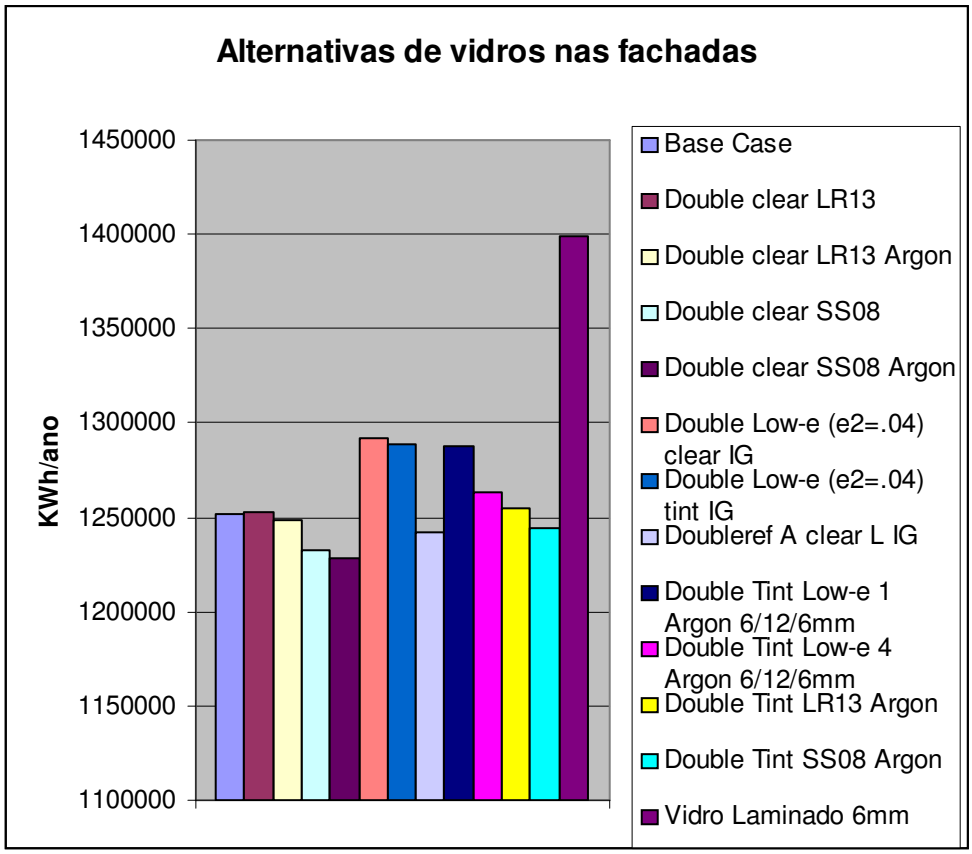

Gráfico 4.5: Gráfico de barras representando os consumos de energia elétrica KWh entre o caso base e as alternativas de vidros desagrupados.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do VisDOE 2.61

5.5.3 **Cenário 3 – Mudança de orientação solar no edifício existente**

Simulou-se o caso base sem sombreamento externo e nas quatro simulações seguintes, foi mudada a orientação do edifício no modelo para os azimutes 45°, 85°, 185° e 270°, todas foram feitas a partir do caso base sem sombreamento externo que corresponde ao azimute 5°. Estas simulações visam quantificar o peso da decisão da orientação solar em edifício comercial climatizado artificialmente (Gráfico 4.6).

28° Simulação – Caso base sem sombreamento externo: retirou-se todo o sombreamento externo do caso base. Testou-se esta simulação com dois objetivos, um deles foi verificar quanto de economia de energia elétrica obtinha-se com o

sombreamento existente na edificação atualmente (3,43%), o outro, foi com relação à mudança de orientação. Nas simulações seguintes o edifício sofre rotações, portanto foi retirado o sombreamento externo para não causar interferências devido a estes obstáculos à radiação solar direta.

Tabela 4.33: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e o mesmo caso base sem sombreamento externo
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do VisDOE 2.61

Alternativas	*Cooling*	Torre	Bombas	Ventiladores	Total
Caso base	495.889	75.381	56.041	150.933	1.251.878
Base case sem sombreamento externo	525.207	79.314	58.925	157.725	1.294.805

Tabela 4.34: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base sem sombreamento externo e diferentes orientações do edifício.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do VisDOE 2.61

Alternativas		*Cooling*	Torre	Bombas	Ventiladores	Total
29°	Mudança de orientação do edifício Az. 85°	513.241	76.710	57.010	157.510	1.278.105
30°	Mudança de orientação do edifício Az. 45°	540.176	81.225	60.362	163.591	1.318.988
31°	Mudança de orientação do edifício Az. 315°	537.882	81.201	60.353	163.532	1.316.602
32°	Mudança de orientação do edifício Az. 270°	541.754	81.018	60.193	165.347	1.321.946

Tabela 4.35: Resultados da mudança de orientação solar no edifício existente simulados no VisualDOE comparado com base case sem sombreamento externo.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do VisDOE 2.61

Caso Base sem sombreamento externo	
Alternativas	Redução/Acréscimo

	% Ar Cond.	% Total
Mudança de orientação do edifício Az. 85°	-2.03%	-1.29%
Mudança de orientação do edifício Az. 45°	2.94%	1.87%
Mudança de orientação do edifício Az. 315°	2.65%	1.68%
Mudança de orientação do edifício Az. 270°	3.31%	2.10%

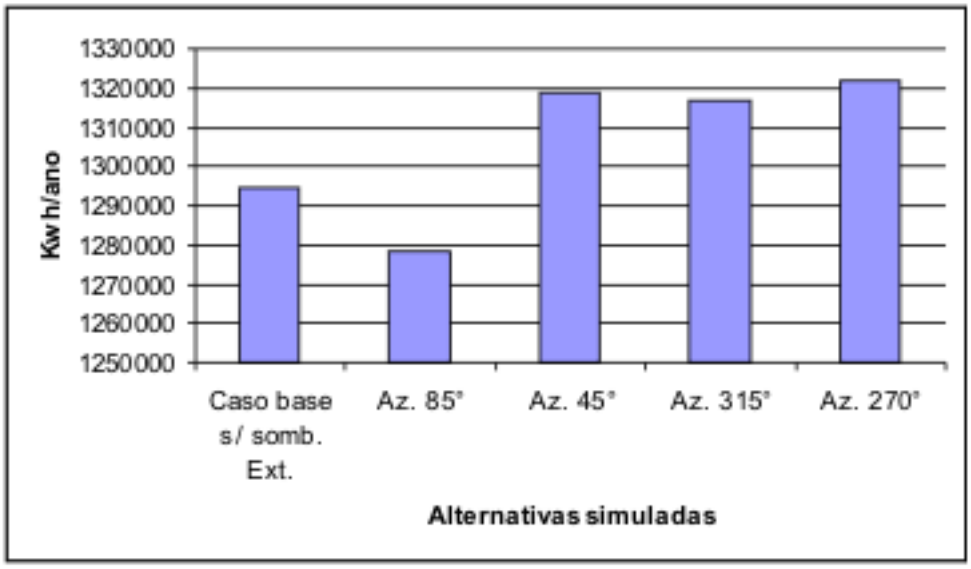

Gráfico 4.6: Gráfico de barras representando os consumos de energia elétrica KWh entre o caso base sem sombreamento externo e orientações do edifício nos azimutes 45°, 85°, 270° e 315°. Fonte: Elaboração própria a partir de dados do VisDOE 2.61

5.5.4 **Cenário 4 – Outras Alternativas**

Neste cenário foram simulados a iluminação, o fechamento vertical dos prismas no térreo e foi realizado um teste nos aparelhos condicionadores de ar que não são os *fancoils*. A tabela 4.41 representa os dados dessas simulações no consumo de energia elétrica e no consumo de condicionamento de ar da edificação.

33° simulação - *Dimmer*: utilização de *dimmers* com a potência de iluminação instalada atual, aproveitando a luz do sol proveniente das fachadas e prismas centrais. Embora esta simulação não corresponda exatamente à realidade, pois, no programa a

potência é distribuída aleatoriamente pela área da zona estabelecida no modelo. E no local, nos pontos de luz próximos as janelas existem menos lâmpadas que no seu interior (em função de ajustes feitos pela equipe de manutenção para o racionamento de energia elétrica que perdura até hoje). Foi utilizado o nível de iluminação de 500 lux, considerado médio, indicado para tarefas como leitura/escrita de documentos com alto contraste e participação de conferências.

Verificou-se que o sistema de iluminação poderia ser melhorado, da seguinte forma: com a instalação de circuitos de iluminação paralelos às fachadas; aumento do número de comandos (interruptores) das luminárias; utilização de sensores e reatores dimerizáveis nos prismas centrais e próximos as fachadas para manter lâmpadas desligadas, ou ligadas por sensor a partir de um número determinado de lux e iluminação na cabina dos elevadores apenas quando os mesmos estão em uso. Por este motivo procederam-se as simulações com utilização de *dimmers*. Consegui-se uma economia bastante razoável com essa medida em torno de 9.36% no total do consumo de energia elétrica do edifício.

Tabela 4.36: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e *dimmer.*
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do VisDOE 2.61

Total do consumo de energia elétrica por uso final em KWh						
Alternativas	Iluminação	*Cooling*	Torre	Bombas	Ventiladores	Total
Caso base	150.093	495.889	75.381	56.041	150.933	1.251.878
Dimmmer	68.861	471.174	72.411	53.868	144.824	1.134.679

34° Simulação - *Dimmer* antes do racionamento: utilização de *dimmers* com a potência de iluminação especificada em projeto, situação que era verdadeira antes do racionamento, quando se constatou um excesso de iluminação, desligando-se algumas lâmpadas no perímetro da fachada e em áreas de circulação. Um dos objetivos desta simulação foi verificar se ainda havia espaço para melhorar o sistema de iluminação

atual já otimizado, que está representado no caso base. Como na primeira simulação, foi utilizado o nível de iluminação de 500 lux. Consegui-se uma economia de 5,87% de energia elétrica.

Tabela 4.37: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e *dimmer* antes do racionamento.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do VisDOE 2.61

Total do consumo de energia elétrica por uso final em KWh						
Alternativas	Iluminação	*Cooling*	Torre	Bombas	Ventiladores	Total
Caso base	150.093	495.889	75.381	56.041	150.933	1.251.878
Dimmmer antes do racion.	101.048	479.809	73.116	54.376	146.524	1.178.414

35° Simulação - *Cooling* desligado no térreo: desligamento do sistema de condicionamento de ar em parte do pavimento térreo, no bloco A, onde situa-se o museu, a copa e o espaço de convívio da empresa. Esta medida representa uma economia pôr volta de 3,75% no consumo de energia elétrica anual da edificação.

Tabela 4.38: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e *Cooling* desligado no térreo.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do VisDOE 2.61

Alternativas	*Cooling*	Torre	Bombas	Ventiladores	Total
Caso base	495.889	75.381	56.041	150.933	1.251.878
Cooling desligado no térreo	468.782	71.259	52.996	138.298	1.204.969

36° Simulação - Fechamento em vidro no térreo, blocos A e B: atualmente existem três superfícies no bloco A e uma no bloco B que se encontram abertas para os prismas centrais. Estas áreas são condicionadas artificialmente, supõe-se estar existindo uma grande perda de carga térmica nestes espaços, por este motivo testou-se esta opção.

Inicialmente houve certa dificuldade para fazer este tipo de mensuração, pelo fato de que o programa não aceita a existência de superfície aberta, foi definida então uma parede com resistência baixa as trocas térmicas. Quando foi substituída esta parede

até então definida para atender os parâmetros do programa, por uma outra em vidro simples com 3mm, o consumo aumentou. A parede que deveria ser quase nula, com maior efusividade para simular vão aberto estava mais isolante que o vidro simples, tentou-se corrigir este fato utilizando-se uma parede de maior difusividade, porém, devido às dimensões desta superfície o programa não aceitava nenhum dos materiais especificados.

Devido a esta limitação do programa, utilizou-se o vidro e não se pode ter um valor real nem aproximado da economia de energia gerada neste item. Portanto este item foi descartado.

37° Simulação - Fechamento com trepadeiras no térreo, blocos A e B: no térreo para impedir a saída de ar condicionado para o exterior nas mesmas superfícies e com o mesmo objetivo empregado na trigésima sexta simulação, descrita anteriormente. Apenas pelo fato de todo o empreendimento utilizar o paisagismo como elemento integrador e agregador de valor, como também da característica desta área, um espaço de convívio, achou-se adequado à utilização de vegetação para o fechamento vertical destes espaços.

A vegetação é especificada em *Exterior Shading*, ou seja, é um sombreamento externo, por este motivo consegui-se simular esta opção. Na realidade a economia gerada pela adoção desta medida é ainda maior que a encontrada no resultado apresentado no quadro abaixo, equivalente a 0,52%, menos que 1% com relação ao caso base. Pois, por limitações do programa (não aceita superfície externa aberta), esta parede está fechada, quando, no prédio em análise não existe fechamento algum.

Tabela 4.39: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e fechamento trepadeiras térreo, blocos A e B.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do VisDOE 2.61

Alternativas	*Cooling*	Torre	Bombas	Ventiladores	Total
Caso base	495.889	75.381	56.041	150.933	1.251.878
Fechamento trepadeiras térreo, blocos A e B	491.643	74.839	55.640	149.649	1.245.405

38° Simulação - *Cooling* desligado no CPD e terreo9-*split*: esta opção visa verificar o consumo de energia com condicionamento de ar da edificação dos aparelhos que não estão conectados a central de água gelada. Desligando-se os três aparelhos, um *self-contained* com condensação a ar do CPD, e dois *splits* no térreo que são utilizados como reforço de carga de uma determinada sala, pode-se verificar a diferença. A diferença no consumo total de energia elétrica fica em 2,11%.

Tabela 4.40: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e *cooling* desligado CPD e terreo9-split.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do VisDOE 2.61

Alternativas	*Cooling*	Torre	Bombas	Ventiladores	Total
Caso base	495.889	75.381	56.041	150.933	1.251.878
Cooling desligado CPD e terreo9-split	476.303	74.420	55.307	145.836	1.225.500

Tabela 4.41: Resultados das outras alternativas simuladas
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do VisDOE 2.61

Caso Base		
Alternativas	Redução/Acréscimo	
	% Ar Cond.	% Total.
Dimmmer	- 4.23	- 9.36
Cooling desligado no térreo	- 6.03	- 3.75
Fechamento trepadeiras térreo, blocos A e B	- 0.83	- 0,52
Cooling desligado CPD e terreo9-split	- 3.39	- 2,11

5.5.5 **Cenário 5 - Alternativas Combinadas**

Inicialmente, foram executadas simulações testando cada item individualmente, objetivando quantificar a representatividade de cada medida. Neste cenário são apresentadas alternativas combinadas, pois o tratamento não é linear, uma medida interage com a outra aumentando o benefício total (Gráfico 4.7 e tabela 4.44).

a) Somatório das alternativas de fácil aplicação. Esta simulação testa várias alternativas, descritas com mais detalhes anteriormente, possíveis de serem adotadas atualmente, com o edifício pronto e em operação. Utiliza o caso base e acrescenta as seguintes alterações: *cooling* desligado no térreo, proteção externa para prismas centrais, *dimmers* antes do racionamento, fechamento em trepadeiras bloco B, pérgulas com 4.00m de profundidade no terraço da cobertura e árvores para sombreamento das fachadas. Se forem adotadas todas estas medidas a economia conseguida ficará em torno de 15,78%, do total de energia elétrica consumida anualmente pela edificação.

Tabela 4.42: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e somatório das alternativas viáveis.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do VisDOE 2.61

Alternativas	*Lights*	*Cooling*	Torre	Bombas	Ventiladores	Total
Caso base	150.093	495.889	75.381	56.041	150.933	1.251.878
Somatório das alternativas viáveis	105.286	398.005	62.039	46.232	119.398	1.054.483

b) Somatório das alternativas sugeridas para novo projeto. Esta simulação testa várias alternativas como a anterior, a diferença esta no acréscimo de mudanças que só podem ser adotadas em um novo projeto. Utiliza o caso base e todas as alterações descritas na simulação anterior, além das seguintes: substituição da laje da cobertura e *double clear SS08 Argon* (vidro eficiente) nas fachadas. Se fossem adotadas todas estas medidas a economia conseguida ficaria em torno de 17,53%, do total de energia elétrica consumida anualmente pela edificação.

Tabela 4.43: Comparativo do consumo de energia elétrica KWh entre o caso base e alternativas novo projeto
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do VisDOE 2.61

Alternativas	*Lights*	*Cooling*	Torre	Bombas	Ventiladores	Total
Caso base	150.093	495.889	75.381	56.041	150.933	1.251.878
Alternativas novo projeto	106.516	385.378	59.828	44.586	112.613	1.032.462

Tabela 4.44: Resultados das alternativas combinadas
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do VisDOE 2.61

Caso Base		
Alternativas	Redução/Acréscimo	
	% Ar Cond.	% Total
Somatório das alternativas viáveis	- 19.59	- 15.78
Alternativas novo projeto	- 22.58	- 17.53

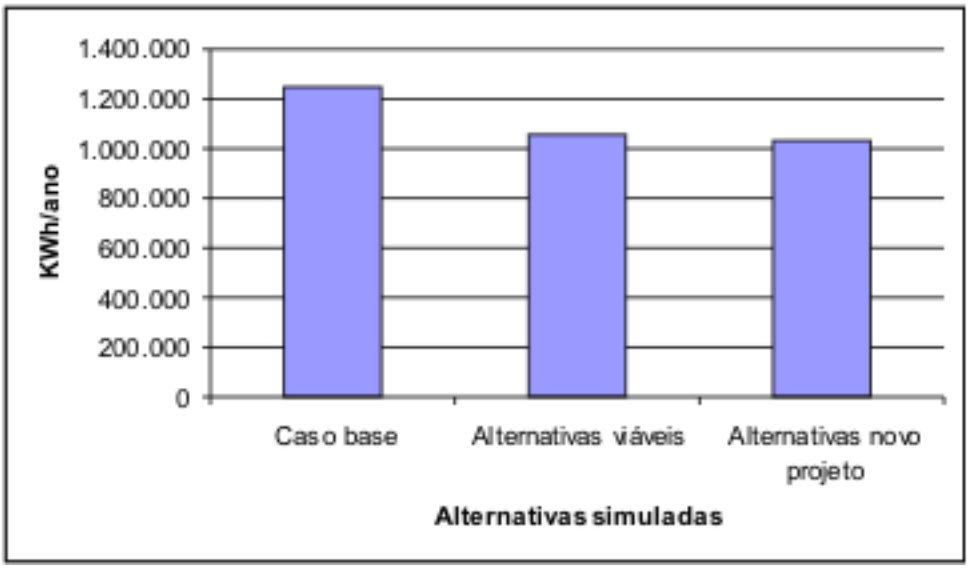

Gráfico 4.7: Gráfico de barras representando os consumos de energia elétrica KWh entre o caso base, somatório das alternativas viáveis e alternativas novo projeto.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do VisDOE 2.61

6 CAPÍTULO 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA ELABORAÇÃO DE PROGRAMAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS

Este capítulo conclui, expondo dificuldades vivenciadas, apresentando as soluções mais adequadas tendo como base os resultados encontrados nas simulações termo-energética da edificação.

6.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Uma série de fatores, tais como, a crise do petróleo, o aumento do efeito estufa e emissão de CO_2 na atmosfera, o custo da energia, o aumento da consciência ecológica, entre outros, estão influenciando a ocorrência de uma mudança de hábitos à nível global. No Brasil, um país em desenvolvimento que ainda não atingiu o pico máximo de sua capacidade de crescimento, as projeções do consumo de energia elétrica indicam números preocupantes para os planejadores que estudam a expansão do setor elétrico.

O desafio consiste em achar um equilíbrio entre a provisão dos serviços de energia para atingir as metas de desenvolvimento a custos compatíveis, de modo a não comprometer a capacidade de suporte do meio ambiente. Com isso, a eficiência energética de edificações passa a ter um papel de destacada importância na consecução desses objetivos.

Os avanços tecnológicos foram sendo incorporados as edificações ao longo dos anos em detrimento as técnicas passivas que eram utilizadas até então, preconizadas pelo que se intitulou arquitetura bioclimática. Não havia maiores preocupações com relação ao custo e a produção da energia, levando a produção de uma arquitetura não

comprometida com os princípios conservacionistas, utilizando-se excessivamente processos elétricos e mecânicos para garantir conforto ambiental.

Frente à crise energética mundial foi preciso repensar os processos construtivos, incluindo as considerações energéticas e ambientais na sistemática do projeto. Neste contexto encaixam-se os edifícios, pois apresentam uma elevada dinâmica de crescimento, quer em termos de número total de prédios existentes, quer em termos de utilização de energia em cada edificação. Trata-se também de um setor muito heterogêneo, englobando alguns edifícios muito eficientes e outros claramente maus utilizadores de energia havendo, portanto, um elevado potencial para melhoria.

Neste trabalho, o estudo de caso analisou uma única tipologia, a dos edifícios de escritórios, porém, ainda existe uma gama de outras tipologias a serem analisadas em trabalhos futuros. No presente estudo, a auditoria energética respondeu a preocupações temáticas, objetivos da tese, ao contrário da situação do arquiteto que tem como obrigação confrontar e harmonizar todos os aspectos envolvidos no processo de concepção da edificação ao mesmo tempo, do orçamento ao clima, considerando a legislação, os objetivos específicos do empreendedor, entre outros aspectos.

O projeto arquitetônico é complexo, refere-se à seqüência de atividades necessárias para transformar a idéia original da edificação, ou seja, concepção, em diretrizes a serem obedecidas pela construtora para executar a obra objetivando sua construção. As dificuldades são diversas desde o estabelecimento da oportunidade do negócio, ao processo em si, passando pelas questões relacionadas com a qualidade da solução proposta e sua representação gráfica, tendo o arquiteto à condição de líder deste processo (SALGADO em Cadernos do PROARQ 6, 1999).

Sendo o empreendedor a peça chave do processo, pois é dele que parte a formulação do negócio, que deve ser traduzido em um programa de necessidades e a

contratação da equipe composta em geral, pelo arquiteto, engenheiros e do coordenador de projetos. O empreendedor incorpora o terreno e analisa sua vocação, ele tem a capacidade de programar o empreendimento. Com base nos levantamentos das condições técnicas do terreno, da legislação, das condições das edificações vizinhas, da opinião pública em relação ao novo empreendimento, da taxa de retorno e dos meios de financiamento, o empreendedor constrói a estimativa inicial e o estudo de viabilidade. Usualmente colhem dados do mercado de construção e nas experiências com empreendimentos anteriores para fazer está estimativa (SALGADO em Cadernos do PROARQ 6, 1999).

A partir deste processo descrito anteriormente é que a arquitetura vai surgir, através de projetos em diferentes estágios, desde o estudo preliminar, passando pela aprovação nos diferentes órgãos, até chegar ao projeto executivo. Porém não se pode esquecer o objetivo final que é a construção da edificação adequada ao uso que lhe foi proposto, satisfazendo o cliente empreendedor e os usuários. É preciso ainda englobar todo o processo embutido no programa de necessidades, que obviamente varia em função do tipo de ocupação que se destina a edificação.

Sabe-se que a arquitetura é também uma arte comunicativa e pode provocar determinados efeitos no comportamento das pessoas, estes efeitos subjetivos devem ser contemplados de maneira adequada, tanto internamente quanto externamente. Neste contexto, as fachadas destacam-se como elementos mediadores entre o edifício e as ilusões e percepções necessárias para relacioná-lo aos lugares onde é construído, nelas estão representadas a convicção dos arquitetos que a projetaram, os interesses do cliente que arcaram com os custos e à cultura vigente neste determinado período. É importante destacar que a forma e a fachada da edificação são aspectos definidos ainda na fase inicial do projeto.

De acordo com FABRÍCIO (2002), uma análise mais ampla do processo de projeto de uma edificação permite identificar uma série de objetivos particulares embutidos em sua concepção, tais como:

- objeto arquitetônico de caráter artístico com determinados pressupostos estéticos, culturais e históricos;
- espaços funcionais e adequados a determinadas atividades humanas, como moradia, trabalho, lazer, entre outras;
- espaço social inserido em determinada malha urbana que dá suporte ao edifício e sofre seus impactos sócio econômicos (demandas por serviços de transporte, saúde, comércio, educação, segurança, etc.) e físicos (consumo de água, energia, produção de resíduos, etc.);
- objeto material de grande monta que exige uma série de matérias primas, infra-estrutura sanitária e energia que causam importantes impactos ecológicos e ambientais;
- produto de elevada vida útil com custos significativos e prolongados de operação e manutenção;
- especificação de características tecnológicas e construtivas envolvidas na produção do edifício;
- muitas vezes a edificação é vista como um negócio, um produto a ser vendido ou explorado que deve propiciar uma rentabilidade ao capital investido.

A contemplação de todos estes fatores e o próprio significado do que representa o projeto na construção de uma edificação, apontam para a dificuldade de desenvolvimento de um projeto completo, abrangendo todas as imbricações contidas na concepção, fabricação, utilização e reciclagem do mesmo. Diante deste fato, em geral, os agentes do empreendimento tendem a priorizar determinadas ações e aspectos que

lhe são mais favoráveis, seja economicamente falando, ou, por gosto pessoal, formação, etc.

A solução proposta para que seja viável financeiramente e passível de ser executada deve englobar, ao menos, as seguintes dimensões: para o empreendedor a capacidade de venda e taxa de retorno; atendimento às necessidades básicas dos usuários; a possibilidade da execução da obra pelo construtor (disponibilidade de materiais, mão de obra e compatibilidade entre os projetos de arquitetura, estrutura e instalações); e para o comprador a mensagem a ser transmitida pelo resultado proposto.

Fazem parte das atribuições do arquiteto coordenar e compatibilizar os projetos complementares, tais como, de instalações elétricas, hidráulicas, elevadores, condicionamento de ar, estrutura, entre outros. O profissional deve ser capaz de acompanhar as equipes especialistas de cada área de conhecimento envolvida na solução de incompatibilidades encontradas, e trabalhar previamente de forma a minimizá-las, buscando a melhor opção possível dentro do contexto analisado.

A mediação de exigências conflitantes é uma das preocupações fundamentais em projetos arquitetônicos. A arquitetura pode ser vista como um objeto estendido com um grande número de comportamentos funcionando sincronicamente e com uma grande complexidade envolvida. Estes conflitos vão além do projeto, até a operação do artefato (DOMINGUES, 2003).

Devido a estas constatações pode-se concluir que quanto mais houver incentivos, tanto econômicos, para os empreendedores, quanto dos meios de comunicação, e informações sobre impactos ambientais causados pelo uso não racional da energia, especialmente da energia elétrica tratada neste trabalho, melhor. Despertando assim, cada vez mais a mensagem que deve ser transmitida ao cliente comprador de unidades da edificação, que passaria então a exigir a eficiência energética

do edifício como diferencial para aquisição do mesmo. Faz-se fundamental a valorização de ações concretas, estimulando o surgimento de mais profissionais especializados em eficiência energética e conforto ambiental capazes de fornecer consultorias, subsidiando os arquitetos voltados para o projeto da edificação.

A partir da descrição detalhada do processo do projeto exposto anteriormente, pretende-se indicar um caminho para a inserção da eficiência energética neste processo. Após o desenvolvimento das simulações ficou comprovado, neste estudo de caso, que as opções com melhores resultados certamente encontram-se na fase inicial, onde a forma de expressão na arquitetura é definida, ou seja, nesta etapa estabelecem-se suas dimensões, forma, principais materiais e sistema construtivo, fachada com suas características e posicionamento no terreno considerando a orientação solar, entre outros aspectos.

Estas formas devem ser entendidas como uma construção espacial, uma estruturação interna nas quais as questões bioclimáticas, estéticas, compositivas e funcionais devem ser inseridas como elemento da concepção presentes na geometria da edificação.

As estratégias de construção sustentável devem ser consideradas no início do ciclo de desenvolvimento de um projeto. A equipe do projeto deve integrar todos os participantes envolvidos no processo de concepção da edificação, como o promotor / proprietário, arquitetos, engenheiros, arquitetos paisagista, o empreiteiro, e demais atores. Implementando uma abordagem integrada, orientada para os sistemas de concepção do projeto ambientalmente adaptado, desenvolvendo sistemas e operações aptos a gerar sinergias e melhorar o desempenho global do edifício.

Uma avaliação inicial considerando os parâmetros do PROCEL, da certificação LEED ou qualquer outra certificação internacional, fará com que a equipe do projeto

trabalhe em conjunto para avaliar e articular os objetivos do projeto a fim de alcançar o nível de certificação solicitada. As equipes de projeto devem utilizar os recursos exigidos pela avaliação desejada para identificar estratégias adequadas para alcançar os objetivos dessa certificação. Através de simulações computacionais é possível simular e avaliar diferentes parâmetros construtivos que minimizem a demanda de energia elétrica para fins de condicionamento térmico e melhorar o desempenho térmico da edificação diminuindo o seu impacto ambiental.

Enfim, em se tratando de conseguir um melhor desempenho energético do edifício, um caminho para nortear essas estratégias pode ser seguir o roteiro estipulado para classificação e etiquetagem do edifício comercial desenvolvido pelo PROCEL/INMETRO, para receber a ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia. O regulamento técnico da qualidade do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos é facilmente acessível por meio da Internet e é auto-explicativo.

Neste regulamento, por meio da equação de classificação do Indicador de Consumo referente à envoltória do edifício, que varia de acordo com a cidade e a Zona Bioclimática que o edifício está inserido, pode-se verificar ainda na fase inicial de projeto a eficiência energética da edificação. Este cálculo é feito de forma relativamente simples, não precisa usar *software* de simulação, podendo ser desenvolvido no escritório de arquitetura pela equipe projetista.

Permitindo que se façam ajustes na volumetria (área, altura e forma), orientação geográfica do edifício, nos elementos de proteção do envelope (elementos e ângulos de sombreamento), nas aberturas (todas as áreas da envoltória do edifício, com fechamento translúcido ou transparente, tais como, janelas, painéis plásticos, clarabóias, portas de vidro e paredes de blocos de vidro), nos materiais construtivos e de acabamento das

paredes externas e cobertura (transmitância térmica, cores e absortância de superfícies). Esta analise objetiva obter as melhores condições de projeto.

Desenvolvendo está analise inicial da eficiência energética da edificação, pode-se elaborar um projeto visando obter a classificação A no requisito parcial envoltória. Pode-se também avaliar se o projeto proposto é eficiente, médio ou ineficiente, do ponto de vista de consumo de energia elétrica decorrente do desempenho térmico da envoltória. Como está na fase inicial, o projeto pode ser reavaliado de forma a chegar ao projeto ideal dentro do contexto.

Os sistemas de iluminação e condicionamento de ar podem ser avaliados em uma segunda etapa, com a evolução e o detalhamento do projeto arquitetônico. Posteriormente, através da fórmula para a classificação geral do edifício, calculada de acordo com a distribuição dos pesos da envoltória (30%), sistema de iluminação (30%) e sistema de condicionamento de ar (40%), obtém-se o nível de certificação desejado.

Este trabalho aborda o tema da eficiência energética, com o objetivo de mostrar meios de redução do consumo de energia elétrica com o planejamento da envoltória do edifício, o sistema de iluminação e o sistema de condicionamento ambiental. Ao mesmo tempo garantir níveis adequados de conforto térmico aos usuários que buscam um projeto mais sustentável.

Constatou-se que no projeto, estudo de caso, o arquiteto considerou o uso racional da energia. Fato que pode ser comprovado através, por exemplo, da escolha do sistema de condicionamento de ar, feito por *fancoils*, com a água gelada vindo de uma central de água gelada, com torre de resfriamento e sistema de termoacumulação, possuindo termostato em cada ambiente climatizado, possibilitando o controle local da temperatura. Nas simulações observou-se a diferença que esta opção representa em

termos de economia de energia elétrica se comparada a utilização de aparelhos de condicionamento de ar do tipo *self cotained* ou *splits*.

E ainda, a orientação do edifício adequada dentro do contexto e o fato das esquadrias das fachadas serem fixas, optando pelo condicionamento de ar totalmente artificial, diminui a infiltração de ar do exterior para o interior melhorando o desempenho do sistema de condicionamento de ar. Já que na situação do Rio de Janeiro a maioria dos dias do ano é quente. Opção aceitável por se tratar de edifício comercial de serviços, onde as cargas térmicas geradas por equipamentos de trabalho e pela densidade de pessoas em seu interior, não são desprezíveis. Embora, haja reclamações de usuários sob este aspecto.

Os vidros adotados na fachada cortina, do tipo laminado refletivo na cor verde 6mm (*single clear* SS08), não foram escolhidos aleatoriamente, mas seguindo uma preocupação com o desempenho energético da edificação. Pois os vidros refletivos, também chamados de vidros metalizados, são vidros que recebem um tratamento, onde são aplicados óxidos metálicos, com a finalidade de refletir os raios solares, reduzindo a entrada de calor, proporcionando ambientes mais confortáveis e economia de energia com condicionamento de ar.

Já o vidro laminado com tipo de laminação simples é constituído por uma placa de vidro refletivo, citado anteriormente, intercalada por uma película de polivinil butiral (PVB) e mais uma placa de vidro comum de 6mm. A aderência butiral-vidro é obtida por tratamento térmico sob pressão para produzir uma placa de vidro de segurança transparente e cor permanente. Oferece alto grau de resistência mecânica e ao traspassamento. Tem uso obrigatório em sacadas, fachadas de edifícios, além de outros. Possui performances acústicas e térmicas boas, especialmente quando uma das faces é refletiva.

O telhado do edifício possui tratamento isolante para evitar o ganho excessivo de carga térmica nesta superfície e sua transmissão para a cobertura. O sistema de iluminação utiliza lâmpadas e reatores eficientes, associados a luminárias reflexivas. Todos estes fatores indicam que o arquiteto tinha conhecimento de aspectos de conforto ambiental e eficiência energética em sua formação e que os utilizou neste projeto.

Parte-se do princípio que na formação básica da maioria dos arquitetos, pois faz parte das disciplinas básicas obrigatórias no currículo do arquiteto, os conhecimentos de conforto ambiental diretamente relacionado à eficiência energética, seja adquirido, empregado e aperfeiçoado a cada novo projeto. Porém, por não ser especialista no assunto o desempenho termo-energético da edificação não atingiu seu ápice, várias medidas poderiam ter sido contempladas, algumas com custo baixo, sem causar nenhuma interferência no estilo arquitetônico do prédio.

Após o desenvolvimento das simulações ficou comprovado, nas alternativas combinadas, que a eficiência energética poderia ser melhorada, podendo chegar a uma economia de energia elétrica anual de 15,78% na alternativa “a” (sem mudanças no estilo arquitetônico) e 17,53% na “b”, expostas no cenário 5. Neste estudo de caso, o prédio é recente e consegui-se como resultado uma melhora de quase 20%, em prédios mais antigos essa melhora pode ser muito maior. As opções com melhores resultados certamente encontram-se na fase inicial, onde a forma de expressão na arquitetura é definida.

Com o perfil do consumo de energia elétrica da edificação indicado no quarto capítulo, resultado de simulação usando o programa Visual DOE versão 2.61. Simulação obtida ao longo de um ano típico, apresentado em base horária e por usos finais, pode-se dizer que os resultados encontrados permitem inferir que, após uma análise do sistema de iluminação, embora as lâmpadas, luminárias e reatores sejam

eficientes, verificou-se que seria possível fazer algumas melhorias. Tais como, aumentar o número de interruptores, instalar circuitos de iluminação paralelos às fachadas, utilizar sensor de iluminação próximos às janelas associados a reatores dimerizáveis, reduzir a iluminação de fundo para patamares suficientes apenas para as circulações e utilizar sensor de presença para acionar o sistema de iluminação de banheiros e escadas.

Visando reduzir o consumo com iluminação foram feitas duas simulações com *dimmers*, uma antes do racionamento, onde todas as luminárias estavam utilizando duas lâmpadas conforme projetado, e outra, depois do mesmo, que corresponde à situação atual, onde várias lâmpadas próximas as janelas se encontram desligadas.

Verificou-se que a iluminação representa um potencial de economia de energia elétrica considerável, um dos mais altos se comparado a todos os outros itens simulados individualmente, como pode ser observado na primeira e segunda simulação, em torno de 9,36% e 5,87% respectivamente, se comparado ao caso base. Com a diminuição da utilização de iluminação artificial, o consumo de ar condicionado baixa, reduzindo assim o total da conta de energia elétrica.

Considerando esta mesma edificação na fase de projeto, poderia ter-se optado pela utilização de reatores dimerizáveis nas lâmpadas, ligadas em circuito paralelo às fachadas, automatizados e com maior número de seções. De forma a garantir os níveis mínimos de luminosidade para as tarefas a que os usuários estão submetidos, independente da sensibilidade do usuário, a variação da potência seria feita em função da variabilidade e mobilidade da fonte luminosa solar no transcorrer do dia e das estações do ano, esta medida representaria uma economia razoável se comparada à situação atual. Esta opção felizmente pode ser adotada a qualquer momento causando um mínimo de impacto na utilização diária do prédio.

Evidenciando a análise preliminar, verificou-se a importância de se utilizar os controles e circuitos os mais independentes possíveis, quanto mais interruptores melhor. Cada ambiente fechado por paredes ou divisórias até o teto deve possuir pelo menos um dispositivo de controle manual para o acionamento independente da iluminação interna do ambiente. Cada controle manual deve ser facilmente acessível e localizado de tal forma que o ocupante possa ver todo o sistema de iluminação que está sendo controlado.

Pelo fato do edifício ser totalmente envidraçado e possuir dois prismas internos a iluminação natural deveria ter sido contemplada e integrada ao projeto de iluminação artificial, seja pela utilização de *dimmers*, ou, pôr circuito próximo às fachadas independente do interior da edificação. Essas áreas devem possuir um controle instalado, manual ou automático, para o acionamento independente da fileira de luminárias mais próxima à janela de forma a propiciar o aproveitamento da luz natural disponível.

Deve-se prever o desligamento automático do sistema de iluminação interna de ambientes maiores que 250 m2. Este dispositivo de controle automático deve funcionar de acordo com uma das seguintes opções: um sistema automático com desligamento da iluminação em um horário predeterminado; um sensor de presença que desligue a iluminação 30 minutos após a saída de todos ocupantes; ou um sinal de um outro controle ou sistema de alarme que indique que a área está desocupada (RTQ-C, 2009).

Ficou comprovado nas simulações que ainda existe espaço para redução do consumo, caso sejam instalados dispositivos e sistemas de controle de luz. O fato de existirem poucos interruptores claramente prejudica a performance do sistema. Porem é preciso considerar nesta análise que o vidro utilizado no programa não é exatamente

igual ao vidro especificado e adotado para as fachadas, as características técnicas de ambos os vidros estão especificadas na tabela 4.4.

Uma opção a ser analisada, visando à implementação, é a utilização da iluminação de tarefa, em que os níveis de iluminação são mais altos para as tarefas visuais, enquanto o restante pode ser mantido a níveis mais baixos. A grande vantagem desta opção é que os níveis de iluminação podem ser controlados individualmente, de acordo com a sensibilidade do usuário e as condições da iluminação natural naquele dia. Facilitando também a manutenção e limpeza dos equipamentos, que ficam mais acessíveis.

Pensando na melhoria de conforto do usuário, poderia ter sido adotado iluminação de fundo, igual a da circulação de 100 a 200 lux e luminárias individuais com a iluminação de tarefa em torno de 500 lux, estando à iluminação ambiental em torno dos 33% da iluminação de tarefa proporcionando conforto e adaptação ao transiente. Já que as pessoas têm sensibilidades diferentes de acordo com sexo, idade e outros fatores teriam a possibilidade de controlar o nível de iluminação adequado à tarefa e a luz do dia.

O andar térreo apresenta menor variação de temperatura, uma vez que o andar superior contribui para atenuar os parâmetros climáticos, interferindo na chegada do sol diretamente nestes ambientes. Tem-se ventilação natural nestas áreas, pois os prismas são abertos nestes trechos, o que agrava mais ainda o consumo de energia elétrica. Pôr isso testou-se e recomenda-se o desligamento do sistema de condicionamento de ar nestes quatro trechos, nos quais se tem baixa densidade de ocupação e, mesmo assim, esta ocupação é transitória.

Na impossibilidade de adoção desta medida a recomendação é o fechamento dessas superfícies verticais, divisórias entre o ambiente interno e os prismas centrais.

Este pode ser feito, com vidro ou com vegetal pôr meio de trepadeiras, que apresenta a vantagem do sombreamento. Estes materiais são sugeridos em função da existência do jardim interno no térreo sob os prismas, e pôr ser um espaço de convívio da empresa, acrescentando valor a estas áreas.

Ainda, quanto ao pavimento térreo nota-se que houve uma apropriação da área de uso comum pôr parte da empresa, pelo fato de ser a única companhia a ocupar o prédio. Conseguindo um aumento de área útil de 1229,14 m² em relação aos outros blocos.

Foi feita uma simulação visando esclarecer uma dúvida sobre o consumo de energia elétrica causado pelo funcionamento de um aparelho *self contained* e dois *splits.* Pois nestes últimos, que não são *fancoils*, o consumo está computado na conta da empresa e não na do condomínio. Basicamente esta alternativa foi simulada para fins de calibração do modelo, mas observou-se que esses aparelhos de condicionamento de ar representam um aumento considerável na conta de energia.

Verifica-se pelas simulações, a importância do uso de proteções solares externas as fachadas no clima da cidade do Rio de Janeiro, representando um dos maiores benefícios dentre todos os outros simulados. A proteção solar externa bloqueia a radiação direta antes de sua penetração pelo vidro, evitando o efeito estufa. Como o edifício é todo envidraçado em suas fachadas, as proteções solares externas são recursos de grande importância para reduzir os ganhos térmicos.

Nas simulações utilizando *brises* verticais em vidro laminado refletivo verde, como o da fachada, constatou-se uma economia na ordem de 0,46%. Lembrando que os mesmos foram dimensionados para não bloquear demais a luz natural. A utilização de proteção externa para prismas centrais, permitindo ventilação mostrou-se interessante, bem como, uma simulação utilizando pérgolas de concreto afastadas de 50 em 50cm,

com profundidade de 2,50m e 4,00m com utilização de vegetação perene sobre as mesmas. A colocação de mais árvores para sombreamento externo das fachadas, especialmente relevante nas fachadas com maior incidência solar, no caso, a Leste e a Oeste torna-se interessante. Neste caso as copas das árvores sombreiam a fachada do edifício, evitando o ganho solar por radiação direta nessas superfícies.

Se fossem somadas as reduções no consumo de energia causadas pelas referidas simulações alcançar-se-ia um total de 7,27%. Esta conta não representa exatamente a realidade é um valor subestimado, pois este não pode ser um cálculo linear, já que, uma medida interage com a outra aumentando o benefício total.

As proteções internas também são utilizadas nas simulações, representadas pelas persianas em *interior shading*, no qual, o programa calcula sua operação abrindo ou fechando de acordo com as condições externas do clima. Porém, elas são atingidas pelo calor solar e este se transforma em radiação de onda longa[37], permanecendo a maior parte no ambiente interior, pôr isso, não apresentam a mesma eficiência que as proteções externas.

A quarta e quinta simulações utilizaram vegetação como forração, nos tetos da cobertura, do telhado e do segundo pavimento, ou seja, no terraço descoberto da cobertura, diferentemente de algumas outras, onde foi feito o uso da vegetação como sombreamento. Estas medidas apresentaram pouca economia de energia, embora tenham sido utilizados dados de terra úmida, ao invés, de dados da vegetação. E os materiais empregados nessas superfícies já tinham boa eficiência térmica (baixa transmitância térmica e absortância).

O fato do terraço descoberto da cobertura possuir colchão de ar com poliestireno sob a laje internamente e o teto da cobertura ser tratado com isolamento térmico,

[37] As radiações de onda longa são radiações infravermelhas emitidas por corpos aquecidos, 2.300 – 10.000 nm (nano-metros). LAMBERTS et al, 1997.

contribuiu para que esta medida não represente grande diferença na economia de energia elétrica, pois ele já era eficiente. Embora a cobertura vegetal seja uma boa solução apresentou quase o mesmo resultado do que o caso base utilizando os meterias descritos anteriormente. O anexo C contém a descrição detalhada dos materiais construtivos empregados nestas simulações.

Notou-se que alguns fatores influenciaram negativamente o uso da vegetação no programa, pode-se citar como exemplo desses fatores, a cor da superfície que é ligada diretamente a *absorptance* e a *rougness*. Como o vegetal é verde escuro, inicialmente foi especificado um valor de 70% para *absorptance,* resultando uma diferença de aproximadamente 2% se houvesse sido adotado com relação ao valor de 40% estabelecido, no total de energia consumido anualmente. Conclui-se que a cor clara é adequada para utilização no clima do Rio de Janeiro, pois tem influência positiva no consumo de energia quando utilizada externamente em uma superfície.

De acordo com EKATERINI (1998), do total de radiação solar absorvida pela cobertura naturada, 27% é refletida, 60% é absorvida pela planta e solo por evaporação e 13% transmitida para o solo. O valor da absortância de radiação solar para uma cobertura naturada é de 0,3 (EGGENBERGER, 1983).

Na simulação foi usado o valor de 0,4, valor um pouco conservador mas adotado em função da grande insolação no Rio de Janeiro que interfere na umidade. Um fator muito importante para os processos da evapotranspiração e fotossíntese da planta. O valor adotado diminui a eficiência da utilização da vegetação na simulação, conforme mencionado anteriormente.

Além disso, não foi considerada a tendência do componente vegetal de estabilizar a temperatura e evitar seus extremos, o que acontece de forma contrária em

superfícies artificiais, que reside em uma das principais preocupações de fechamentos opacos, que é basicamente minimizar a transmitância térmica.

O aspecto da vegetação deveria ser mais empregado visando o conforto térmico na composição dos ambientes do edifício, o que viria de encontro à filosofia de todo o empreendimento que procurou explorar a utilização da composição visual do vegetal nos seus espaços. A constituição das fachadas em pele de vidro favorece o uso da iluminação natural, possibilitando uma bela composição dos jardins internos nos prismas centrais do térreo de ambos os blocos, que podem ser observados dos andares superiores.

Ao se optar pela cobertura vegetal na elaboração do projeto é preciso considerar aspectos quanto a seu porte (árvores, arbustos, palmáceas e herbáceas), tempo de exposição ao sol, adequação ao clima, densidade da folhagem, se as folhas são caducas ou perenes, tempo de crescimento do vegetal, o espaço disponível e sua composição visual ao longo das estações do ano.

Sabe-se que a elevação da temperatura do entorno é função das características de emissividade dos materiais utilizados em sua composição e podem aumentar as ilhas de calor, presentes nas cidades, geradas pelas modificações de drenagem do solo, por revestimentos da superfície em concreto e asfalto.

Um outro aspecto positivo na utilização da vegetação refere-se à reflexão da luz incidente que fica em torno de 10% a 15%, menor que a do concreto que é de 25% a 30%, diminuindo a reflexão de luz e calor (BARROSO-KRAUSE, 1998). No Rio de janeiro, não existe grande variação de temperatura o que favorece a manutenção e equilíbrio da vegetação, pois está estabilidade climática mantém as características de perenidade e resistência necessárias à qualidade visual dos espaços.

Como foi visto, além da capacidade térmica, a cobertura vegetal apresenta várias outras características positivas associadas ao seu uso e concepção, notadamente: melhoria na estética da edificação; redução de problemas acústicos; melhoria no microclima local; não requer energia intensiva em sua manufatura; reduz o escoamento de águas pluviais e prolonga a vida útil da membrana do telhado.

A vegetação, cobertura naturada, pode proteger o telhado ou superfícies horizontais da radiação solar e das cargas térmicas associadas das três principais formas: devido suas propriedades reflexivas, a conversão da energia absorvida pelas plantas, e a evaporação provenientes das plantas e do solo (EGGENBERGER, 1983).

Nas simulações executadas com a vegetação ficou comprovado sua influência no conforto térmico e desempenho energético da edificação, além do aspecto de interesse visual, embora seu valor nas forrações tenha sido subestimado. Outros fatores que influenciaram esta pequena diferença são: o piso existente (simulado no caso base) possui cor clara (baixa absorção, 40%) e algumas horas do dia o terraço descoberto encontra-se sombreado pelo telhado. Isto reduz o calor nessas superfícies. E ainda, o ambiente condicionado no andar de abaixo emprega material isolante em sua composição apresentando uma baixa transmitância térmica.

Como foi visto, as soluções que propuseram baixa transmitância térmica não representaram grandes ganhos na eficiência energética da edificação. Contudo, as simulações que empregaram sombreamento apresentaram melhores desempenhos termo-energéticos se comparadas às simulações utilizando materiais termicamente isolantes.

A utilização de mais árvores no entorno imediato da edificação representou uma economia de energia na ordem de 1,85%. No térreo dos blocos A e B as superfícies verticais antes abertas representaram uma economia de 0,52% com a utilização das

trepadeiras. Já com relação ao terraço descoberto do terceiro pavimento, tornar esta região gramada representou uma diminuição no consumo de 0,52%. Todas elas somadas representam um potencial de energia na ordem de 2,89% com relação à situação atual.

Embora esta última opção não possa ser executada em uma reforma, as duas opções anteriores são exeqüíveis, e juntas representam 2,37% de economia. A opção de pavimentar com grama está descartada devido à altura do substrato da região com terra e impermeabilização da laje necessária para o plantio, que interferiria diretamente nas esquadrias existentes comprometendo suas aberturas e acabamentos. E devido ao fato da laje não ter sido preparada para receber esta carga proveniente do peso próprio dos materiais.

Como foi visto utilizando o vidro duplo do tipo *double clear SS08 Argon* nas fachadas esta permaneceria com a mesma aparência, porém o consumo de energia elétrica cairia em 1,87% com relação ao prédio real. Observou-se que o desempenho termo energético dos vidros quando utilizando o argônio na camada separadora é superior ao do ar. E ainda, verificou-se que o consumo de energia aumentou utilizando-se determinados vidros duplos. No caso do edifício simulado, não há problemas com relação à acústica, ou seja, a especificação do vidro duplo está sendo analisada apenas pelo lado da questão energética.

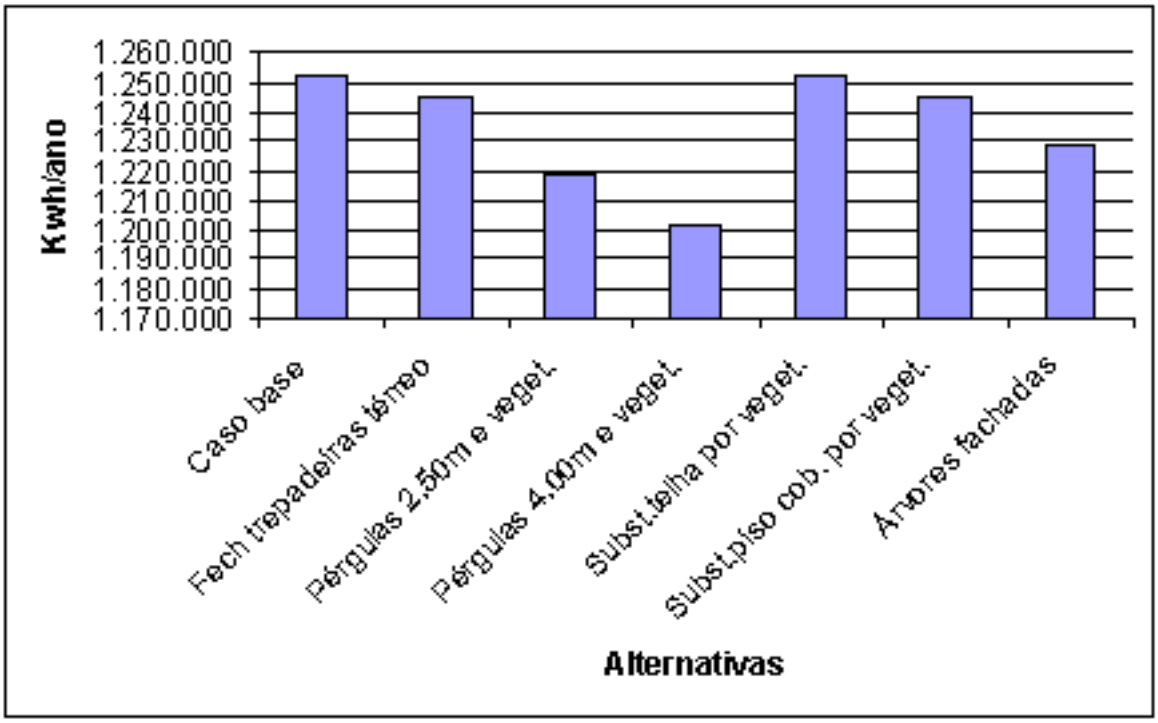

Gráfico 5.1: Gráfico com a influência da vegetação no consumo de energia elétrica.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do VisDOE 2.61

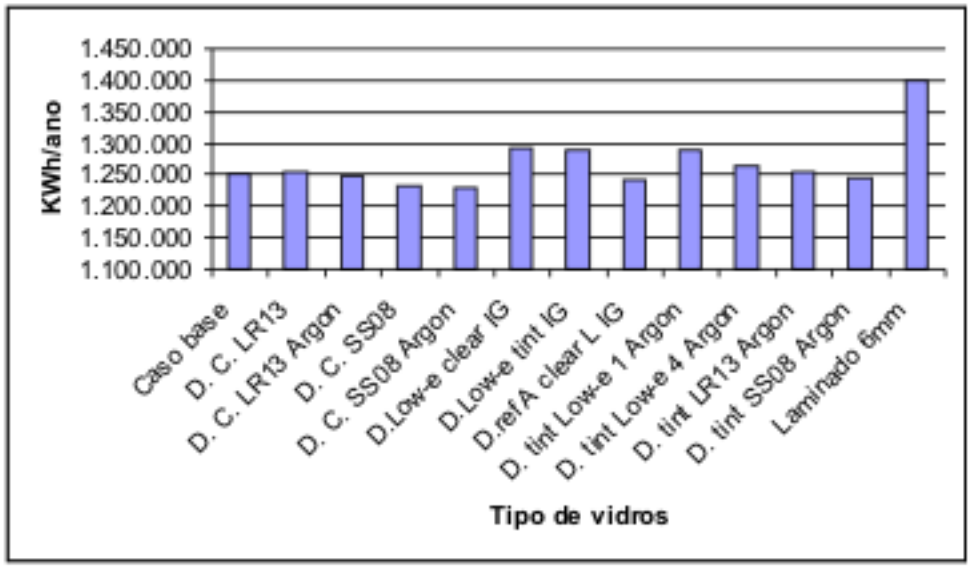

Gráfico 5.2: Gráfico comparando as performances dos vidros simulados com o existente (caso base).
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do VisDOE 2.61

O ganho de calor no interior do ambiente vindo através do vidro, pode ser diminuído utilizando-se aberturas com baixo fator solar, ou, baixo coeficiente de sombreamento. No entanto, considerando-se que um fechamento transparente quando recebe a radiação solar responde diferentemente em cada região do espectro, adotar simplesmente o parâmetro fator solar sem considerar o espectro como um todo para realizar a escolha do vidro, não pode ser considerado o procedimento mais adequado. Deve-se conhecer a eficiência luminosa e térmica do vidro. Pois, idealmente procura-se um material com alta transmissão luminosa, baixa transmissão de calor infravermelho e baixa transmissão de ultravioleta.

Os dados com as características técnicas dos vidros, tais como, transmissão energética, absorção energética, coeficiente de sombreamento, não são amplamente divulgados pelos fabricantes, sendo de difícil acesso. De um modo geral, as especificações indicadas pelos fabricantes de vidros e componentes translúcidos referem-se à descrição das parcelas de radiação solar que são transmitidas, refletidas e absorvidas por tais componentes sem, no entanto indicar como esses mecanismos ocorrem por faixa do espectro.

É preciso conhecer como funcionam os mecanismos de transmissão, reflexão e absorção da radiação solar e o desempenho diferenciado dos componentes translúcidos a essa radiação. Tornando possível a adoção da melhor opção dentro do contexto, considerando nesse critério além dos dados do vidro, o clima, a função a que se destina a edificação e outras variáveis a serem determinadas pelo projetista em cada caso particular.

A radiação solar se divide da seguinte forma: parte atravessa o vidro, penetrando no ambiente interno (transmissão direta); parte é refletida para fora; e uma terceira porção é absorvida pelo vidro, que se aquece e redistribui essa energia, devolvendo

parte para o exterior e parte para o interior. Esse mecanismo está presente no conceito de fator solar, que pode ser definido como a soma das parcelas de transmissão direta pelo vidro mais a parcela da energia absorvida e reirradiada para o interior.

Alguns autores adotam que a parcela reirradiada para o interior do ambiente representa 1/3 da parcela absorvida (ALUCCI, 2006), outros, 1/2 (LAMBERTS et al, 1997). O Fator Solar é a característica espectrofotométrica normalmente indicada pelos fabricantes dos componentes transparente-translúcidos, uma vez que tal variável permite o cálculo do ganho de calor total.

O Fator Solar depende da posição do sol e das condições exteriores tais como a convecção natural favorecida (ou não) pelo vento. Para o cálculo do Fator Solar considera-se:
o sol a 30° acima do horizonte, em plano perpendicular à fachada; temperatura interior ambiente igual à temperatura exterior; coeficiente de condutância térmica superficial (exterior: 23W/m2°C e interior: 8W/m2°C) (ALUCCI, 2006).

O conceito de coeficiente de sombreamento (CS), que é adotado no programa em detrimento ao fator solar, foi introduzido pela ASHRAE, objetivando viabilizar a comparação entre diferentes tipos de envidraçamento e sua combinação com diferentes tipos de proteção (brises, cortinas, etc). Pode ser entendido como a razão entre o fator solar (transmissão direta + parcela da energia absorvida que é retransmitida para o interior do ambiente) e a mesma grandeza correspondente ao vidro padrão, definido como: vidro 3mm, incolor, não sombreado.

Tabela 5-1: Fórmulas relativas ao fator solar, fluxo térmico por condução, ganho solar pelo vidro e ganho solar total.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de ALUCCI, 2006 e LAMBERTS et al, 1997.

Fator Solar	Fluxo térmico que atravessa o vidro por condução	Ganho solar através do vidro
FS = T + (1/3)AB sendo: FS Fator Solar T ganho devido à transmissão direta da radiação AB a parcela absorvida pelo componente (ABI+ABE)	Qa = U (te - ti) sendo: Qa valor do fluxo térmico que atravessa o vidro por condução (W/m²) U coeficiente de transmitância do componente (declarada pelo fabricante) te temperatura do ar exterior (°C) ti temperatura do ar interior (°C)	Qs = FS R sendo: Qs ganho solar através do vidro (W/m²) FS Fator Solar R energia solar incidente (W/m2)
Q = A [FS R + U (te - ti)] onde: Q ganho de calor através do vidro (W) A área do componente (m2)		

Para o cálculo de CS é necessário considerar a área da janela que permanece sombreada e aquela que é diretamente exposta à radiação solar. Dessa forma, o CS varia em função da orientação da fachada, da latitude e hora do dia. Para um dado conjunto de vidro (ou policarbonato/acrílico/etc) + proteção (brise/cortina/etc), LIM, B. P. (ref. 1) apud ALUCCI, 2006, propõe a seguinte expressão:

$$CS' = (A1 \times IDg + f \times A \times Idg) / (A \times ITg)$$

Equação 5-1: Fórmulas relativas ao cálculo do CS (coeficiente de sombreamento).

Fonte: LIM, B. P. (ref. 1) apud ALUCCI, 2006.

sendo,

CS' o coeficiente de sombreamento equivalente do conjunto

A1 área da janela exposta ao sol

IDg radiação solar direta transmitida através de um vidro comum 3mm

f fração da radiação difusa obstruída pela proteção

A área total da janela

Idg radiação solar difusa transmitida através de um vidro comum 3mm

ITg radiação solar total transmitida através de um vidro comum 3mm

Se o vidro utilizado não é um vidro comum 3mm, mas um vidro refletivo; termo absorvente; ou um vidro composto com películas (ou ainda uma combinação de qualquer desses com proteção interna tipo cortina), o Coeficiente de Sombreamento do "conjunto" (CS'') pode ser obtido por:

$$CS'' = CS' \times CS$$

Equação 5-2: Fórmulas relativas ao cálculo do CS'' (coeficiente de sombreamento do conjunto).
Fonte: LIM, B. P. (ref. 1) apud ALUCCI, 2006.

sendo,

CS' cálculo indicado acima

CS o Coeficiente de Sombreamento declarado pelo fabricante

Depois de esclarecido os conceitos referentes ao fator solar e coeficiente de sombreamento, é necessário compreender como a radiação eletromagnética emitida pelo sol é composta. Pois, como foi dito anteriormente, adotar simplesmente o parâmetro fator solar (sem considerar o espectro como um todo) para realizar a escolha do vidro mais adequado, não pode ser considerado o procedimento para obter os melhores resultados.

A radiação solar, que atravessa a atmosfera e atinge a superfície terrestre compreende um espectro com a composição aproximada de 1% a 5% de ultravioleta (UV) com comprimento de onda entre 290nm e 380nm, 41% a 45% de luz visível (LV) corresponde aos comprimentos de onda compreendidos entre 380nm e 780nm, e 52% a 60% de infravermelho próximo (IV) cujo comprimento de onda vai de 780nm a 2500nm. Acima de 2500nm (2500 a 3000nm) existem radiações infravermelhas longas que são emitidas pelos corpos já aquecidos pela radiação solar, como o piso do entorno, as edificações próximas, etc.

Toda a radiação transmitida para o interior do ambiente é absorvida e/ou refletida pelos objetos aí existentes. Essa energia absorvida aquece os objetos e é reemitida ao meio em forma de infravermelho. Essa radiação ficará contida no ambiente interno uma vez que o vidro é opaco a comprimento de onda longo. Desta forma, a radiação solar pode penetrar com facilidade no ambiente através dos vidros, mas não pode ser eliminada através desse mesmo componente. Fato que precisa ser considerado, pois esse é um dos motivos do denominado efeito estufa.

A parcela de UV, não representa uma fonte de calor e tampouco uma fonte de luz, mas deve ser evitada porque compromete a durabilidade dos materiais. A parcela de radiação visível do espectro (LV) representa apenas uma fonte de luz. Esta faixa do espectro para a qual o olho humano é sensível garante as condições de iluminação natural dos ambientes, assim como, o contato entre o meio externo e o interior das edificações. A parcela de infravermelho próximo (IV) representa apenas uma fonte de calor e não pode ser captada pelo olho humano.

Cada uma dessas três categorias de radiação quando incidem sobre um componente translúcido/transparente é absorvida, refletida e transmitida em função das características do componente. A parte correspondente à transmissão da radiação

incidente depende da composição química do vidro, cor e presença de películas e deveria ser especificado em função do espectro incluindo o UV, LV e IV.

Com a indicação pelos fabricantes do valor de transmissão para todas as faixas do espectro é possível fazer uma avaliação criteriosa quanto ao vidro mais adequado em cada caso. Com tais dados, determinando-se a parcela líquida de luz (da faixa do visível) sobre a transmissão total e denominando essa parcela de "Eficiência Luminosa" (EL), pode-se criar um parâmetro de comparação para escolha do tipo de vidro (ou plástico translúcido) mais adequado.

Para a determinação da "Eficiência Térmica" (ET) do componente de fechamento em vidro (ou policarbonato/acrílico), pode-se identificar uma relação em % de infravermelho (da faixa IV) sobre a transmissão total. Neste caso, deve-se observar que a relação que otimiza o desempenho do vidro (ou policarbonato/acrílico) com relação ao ganho de calor seria o vidro que apresentasse a menor percentagem de infravermelho sobre o ganho total da amostra (ALUCCI, 2006).

Como pode ser visto nas fórmulas anteriormente descritas, o *u-factor* refere-se ao cálculo do valor do fluxo térmico que atravessa a abertura por condução, apresentando um valor não muito alto e similar a outros materiais de construção. A grande diferença está na radiação que atravessa o vidro diretamente. Portanto, na comparação do desempenho térmico dos vidros usados nas simulações 15 a 26, cujas especificações técnicas encontram-se na tabela 4.23, o elemento que faz a maior diferença é o coeficiente de sombreamento (SC), que deve ser o mais baixo possível, embora não se conheça sua eficiência energética.

Ficando então a análise prejudicada, pois quando se compara o vidro *double clear SS08*, que corresponde ao segundo melhor desempenho termo energético, com o vidro *double tint SS08 Argon*, que eqüivale ao quarto melhor desempenho, não se

consegue avaliar qual variável influenciou esta performance energética. Pois, como o programa não fornece os dados por faixa do espectro da radiação solar, não se sabe exatamente como esses mecanismos de transmissão, reflexão e absorção ocorreram.

Muitas vezes o arquiteto sabe das características gerais de cada tipo de vidro, mas não chega ao detalhamento desses dados, ou, pôr desinformação, ou, acreditando num terceiro agente, que não tem o mesmo objetivo, especificando um vidro não tão eficiente. A performance final vai depender das propriedades de cada vidro e da combinação entre eles, são diversas as possibilidades de arranjo. Realçando mais uma vez a necessidade de se contratar uma consultoria técnica na área de eficiência energética.

No estudo de caso desenvolvido neste trabalho, a definição de que a arquitetura passaria uma mensagem de alta tecnologia incorporada à edificação foi norteador das caraterísticas da fachada. Fato relatado em entrevista feita pela pesquisadora com o arquiteto responsável pelo projeto de arquitetura do empreendimento. Por isto, optou-se pela pele de vidro, ou seja, o arquiteto tem consciência do domínio publico comum associado à utilização do vidro para a transmissão da idéia de edifício *higt tech*. Este elemento incorporado à obra é conhecido dos usuários e capaz de evocar os sentimentos desejados pela equipe projetista e empreendedora.

A admiração pelo vidro e transparência foi uma característica do século XX. Inicialmente o vidro tinha como propósito filtrar a luz e proteger contra incidentes. A luz natural valoriza os espaços, pela penetração no ambiente de suas nuances nos vários períodos do dia e a percepção da forma na arquitetura. Ao se manipular a luz evocam-se outros sentimentos que não são exclusivamente racionais e funcionais, mas, simbólicos, culturais e perceptivos. O vidro se tornou o suporte de comunicação entre o interior e o exterior.

Para responder as exigências do mercado, o vidro ganhou novas funções como conforto e segurança, tornando-se peça fundamental para projetos de arquitetura e decoração. É um dos raros materiais de construção cujo uso pode ser tão diversificado graças a sua propriedade multifuncional. A última década conheceu um desenvolvimento espetacular das aplicações do vidro para segurança, controle solar, isolamento acústico, arquitetura e decoração, inclusive como elemento estrutural (pilares, vigas e pisos) e aplicações inovadoras como vidro curvo ou vidro duplo com persiana incorporada.

Essas aplicações modificaram a imagem do vidro dando lugar a um produto com inúmeras funções e grande caráter decorativo. Não se pode esquecer que o vidro é reciclável, no momento do processo tem-se a possibilidade de poupar o meio ambiente da retirada de matérias-primas necessárias à produção, diminuindo as emissões de CO_2 à atmosfera, consumindo menos energia na sua fabricação.

Entretanto, a utilização da iluminação natural nos edifícios deve ser feita de modo a não gerar problemas, como o excesso de carga térmica e ofuscamento de seus usuários. Porém deve ser concebida como estratégia de eficiência energética, no qual os sistemas de proteção, a resposta dos ocupantes do espaço a determinado uso de elementos arquitetônicos, a integração dos sistemas de luz natural e artificial, otimizem o uso da energia (DI TRAPANO em Cadernos do PROARQ 6).

Se for comparado o vidro incolor laminado de 6mm (vidro comum de 3mm + 3mm) com o vidro eficiente adotado nota-se que o aumento de energia é muito grande, maior do que qualquer outra medida, na ordem de 11,8%. Conclui-se que os fechamentos transparentes são os principais elementos de ganhos ou perdas térmicas em edificações. Pode-se observar a importância da escolha do vidro com critério considerando-se nesta análise o clima.

Em climas, como o do Rio de Janeiro, que não existe grandes variações térmicas, este material pode ser utilizado, pois apresenta a vantagem de possuir uma resposta térmica relativamente rápida, inércia térmica baixa, e possui ainda o benefício da valorização dos espaços, e aumento da sensação de conforto para os usuários da edificação. Embora se esse vidro vier a ser utilizado associado a algum elemento de sombreamento o resultado térmico certamente será melhor.

Comparando-se a mesma edificação estudo de caso com alvenaria de tijolos na cor clara absortividade de 40% (PARALV) e vidro incolor laminado de 6mm em 40% da área das fachadas, o consumo de energia elétrica apresenta um aumento de 2,07%. O que vem na contramão do senso comum, de que edifícios com fachadas totalmente envidraçadas consomem mais energia que uma edificação tradicional. Fato este que depende em grande parte da escolha do vidro.

Se forem comparadas as duas tipologias de edificação com o mesmo tipo de vidro, o edifício tradicional consumirá menos energia, como foi visto nas simulações. Porém, o que acontece em muitos casos é que, quando se trabalha no edifício tradicional, com janelas, o vidro especificado nem sempre é eficiente. Não se dá a devida atenção à especificação do vidro.

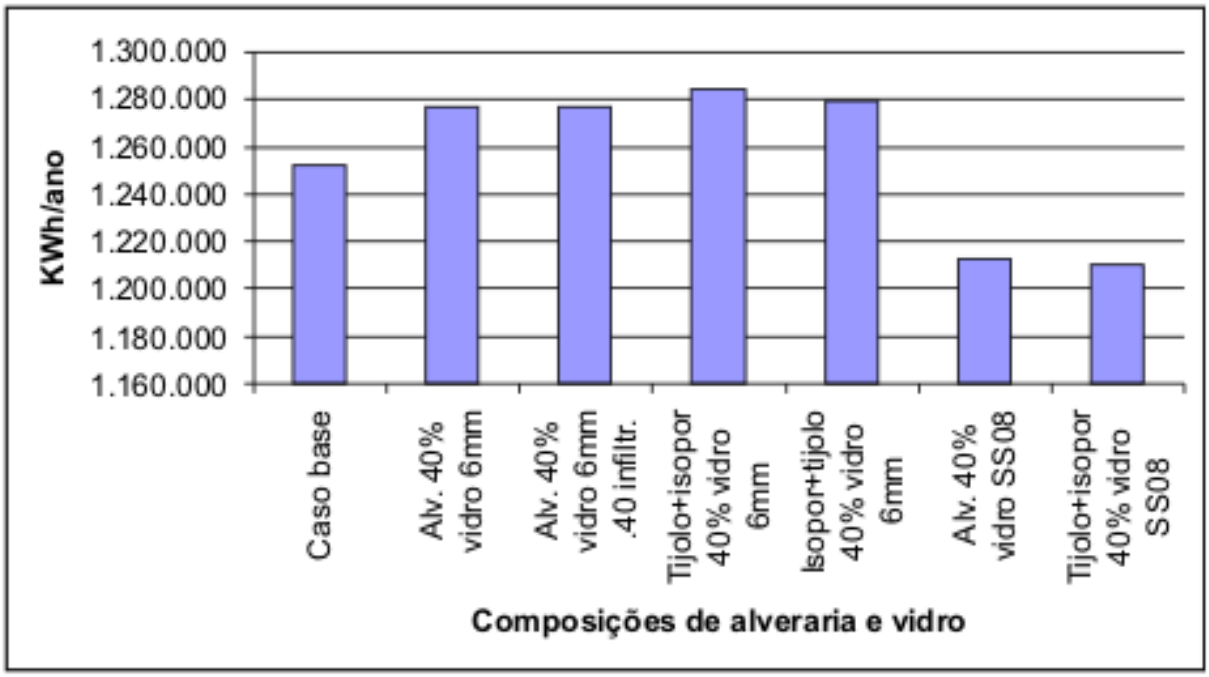

Gráfico 5.3: Gráfico comparando os resultados das simulações dos diferentes tipos de paredes e vidros.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do VisDOE 2.61

Se o edifício estudo de caso deste trabalho visasse à classificação do nível de eficiência energética pelo método desenvolvido pelo PROCEL, INMETRO, para concessão da etiqueta na fase de edificação existente com relação à envoltória, ele receberia a etiqueta parcial de nível B. Pois, por ser totalmente envidraçado e sem proteção externa incorporada as fachadas e cobertura (envelope), por mais termicamente eficientes que os materiais utilizados nessas superfícies fossem não chegaria na classificação A, com base na equação da envoltória desenvolvida por este método.

Na simulação tijolo + isopor 40% de área envidraçada, com as mesmas características descritas no parágrafo anterior, diferenciando apenas no acréscimo de uma placa de isopor na face interna da parede com a utilização de argamassa armada para sustentação (PARALVefic), o consumo de energia elétrica aumentou ainda mais, inclusive se comparado a parede de alvenaria comum. É preciso entender como funciona o mecanismo de trocas térmicas.

Analisando as simulações executadas, algumas foram feitas inicialmente como testes e não constam nos anexos, notou-se que dois fatores exercem grande influência no desempenho térmico das superfícies externas, são eles, a absortividade (α) (*absortance*) e rugosidade (ρ) (*roughness*) do material de construção empregado nessas superfícies. Estes fatores estão diretamente relacionados à radiação incidente nos fechamentos opacos que terá uma parcela absorvida e outra refletida. Lembrando que troca de calor com o meio exterior da superfície externa acontece por convecção e por radiação. O fluxo térmico acontece sempre do ambiente ou superfície mais quente para o mais frio, até que não haja mais diferença de temperatura.

Depois desta fase, ocorrerá condução do fluxo de calor através do fechamento. A intensidade deste fluxo varia em função da condutividade térmica (λ) do material e representa sua capacidade de conduzir maior ou menor quantidade de calor por unidade de tempo (LAMBERTS et al, 1997). A espessura do fechamento, que pode incluir fechamentos com muitas camadas, influência no cálculo da resistência térmica, que se caracteriza por ser a propriedade do material em resistir à passagem de calor. Se houver camada de ar, as trocas térmicas ocorrerão por convecção e radiação.

Na terceira fase do processo, ocorre a troca de calor com meio interior. As trocas térmicas acontecem por convecção, dependem da resistência interna do fechamento, e radiação, dependem da emissividade superficial do material. Emissividade é uma propriedade física dos materiais que diz qual a quantidade de energia térmica é emitida por unidade de tempo (LAMBERTS et al, 1997).

A resistência total do fechamento é obtida pelo somatório da resistência de cada uma das camadas que compõem o mesmo. Deste conceito obtém-se a transmitância térmica *(U factor*) do fechamento, que é o inverso da resistência total. Ou seja, quanto mais baixo o *u factor*, mais resistente à passagem de calor é o fechamento. Esta é uma

variável de grande importância na avaliação do comportamento térmico de um fechamento opaco, onde o equacionamento do fluxo térmico pode ser definido como (LAMBERTS et al, 1997):

$$Q_{FO} = A\,[U\,(\alpha\,R\,Rse + te - ti]$$

Equação 5-3: Equação do fluxo térmico total que atravessa o fechamento opaco.
Fonte: LIM, B. P. (ref. 1) apud ALUCCI, 2006.

onde:

QFO fluxo térmico total que atravessa o fechamento opaco (W)

A área do componente (m2)

U coeficiente de transmitância do componente

α absortividade da superfície externa do fechamento

R energia solar incidente (W/m2)

Rse resistência superficial externa (m2 K/W)

te temperatura do ar exterior (°C)

ti temperatura do ar interior (°C)

Para o calculo da carga térmica, além do fluxo térmico que atravessa o fechamento tem que se considerar às trocas de calor pelas aberturas, os ganhos térmicos internos e a infiltração de ar, que neste caso foi considerado um valor baixo, pois as esquadrias são fixas.

Comparando-se o caso base e a simulação feita com alvenaria de tijolos na cor clara, o consumo de energia elétrica aumentou em todos os casos que se utilizou vidro incolor 6mm, o aumento foi maior quando empregado o isopor como material construtivo e menor na alternativa com maior troca de ar entre interior e exterior. Quando simulado com vidro eficiente SS08 o consumo diminuiu com a utilização de

alvenaria, e um pouco mais, quando se agregou o isopor, mesmo assim, a economia não é significativa, está na ordem de aproximadamente 3%. Fato que pode ser explicado pelo efeito estufa.

Nas simulações onde se utiliza parede nas fachadas notou-se que o isopor, quando utilizado externamente apresentou um desempenho superior, do que quando foi usado internamente. Fato que pode ser justificado, pois pela sua colocação no exterior o isopor retarda a chegada de mais calor para o ambiente interno.

Observou-se em uma das simulações do edifício hipotético, que o aumento de temperatura no ambiente interno abaixo de uma laje isolada, com utilização de isopor em ambos os lados, para uma outra com pouco isolamento, laje mais material de acabamento em piso cerâmico com cor clara, é pequeno com uma economia de energia elétrica em torno de apenas 0,55%. Lembrando que o isopor é um material cuja sua característica é a baixa densidade, sendo bastante poroso e considerado isolante térmico, embora neste estudo utilizou-se em ambas as situações polyestireno sob a laje e ar abaixo do mesmo.

Com relação à mudança de orientação do edifício, nas situações simuladas, em praticamente todas houve um aumento da exposição das superfícies mais extensas ao sol durante todo o ano, consequentemente, causou um aumento no consumo de energia elétrica total da edificação. Os valores de radiação horários utilizados foram os existentes no Ano Climático de Referência (TRY) para o Rio de Janeiro.

Avaliando as mudanças na arquitetura feitas através das simulações termo energéticas da edificação em estudo, situada no Rio de Janeiro, pode-se concluir que a radiação solar é a principal fonte de ganho de calor na edificação. Deve-se, portanto desenvolver soluções que minimizem seus efeitos seja, através da escolha de um vidro termicamente eficiente, pelo sombreamento externo da edificação, pela utilização de

cores claras externamente, ou, pela utilização de materiais com baixa transmitância térmica.

No estudo de caso desenvolvido, a solução mais conveniente para diminuir o consumo de energia elétrica devido à carga térmica, encontra-se no plantio de mais árvores externas a edificação. Pois, pelo fato da altura do prédio ser relativamente baixa, em torno dos 15m, as árvores conseguiriam sombrear as fachadas sem causar maiores conseqüências na implementação desta medida. Todas as medidas que empregaram em sua base sombreamento deram bons resultados, melhores do que as soluções que utilizavam materiais com baixa transmitância térmica.

Quanto ao sistema de climatização artificial a utilização de sistemas de expansão direta possui vantagens, tais como, grande capacidade instalada, facilidade de controle das condições operacionais, vida útil mais longa se comparado a outros sistemas, mais econômico durante o uso, trabalham com carga máxima simultânea, permitem gerenciamento global de consumo de energia da edificação, permitem o uso da técnica da termoacumulação e permitem o controle de vazão para os diferentes ambientes através do VAV. Embora este último item não tenha sido empregado.

Quanto aos equipamentos elétricos em geral, pode-se inferir que o consumo individual dos microcomputadores é baixo, no entanto como existe um grande número deles em funcionamento no edifício analisado, a sua participação no consumo total torna-se considerável. Desta forma, os usuários dever ser orientados a desligá-los quando não forem utilizar por longos períodos. Utilizar sempre que possível recurso de economia de energia disponível em sua grande maioria, como desligamento do monitor para saída de horário de almoço. O somatório do consumo de energia elétrica anual dos equipamentos instalados no edifício é de 297.933 KWh.

Com relação ao prédio inteligente, termo que tem sido usado na indústria da construção civil há quase duas décadas, referindo-se a uma ampla variedade de capacidades integradas na estrutura dos prédios com base em tecnologias de comunicação e computação, neste estudo de caso, está limitado a alguns sistemas. O ideal seria que o domínio do projeto, além da determinação da forma do prédio, abranja a construção do contexto social nos quais os usuários interajam no ambiente e entre si. Como Gordon Pask (Apud DOMINGUES, 2003) há mais de três décadas já entendia a relação entre o humano e uma arquitetura adaptativa e interativa, cunhando o termo "mutualismo".

O uso de micro controladores para a administração de subsistemas do prédio em análise está restrito aos sistemas de controle ambiental, segurança, proteção contra incêndio, transporte vertical e no oferecimento de serviços de comunicação e de dados em redes locais. Poderia ter ocorrido uma melhor interação entre arquitetura e o humano, se fosse considerado o sistema de iluminação. Este não leva em conta a interação com os usuários, já que não permite uma regulagem do fluxo luminoso individual. Uma outra falha do referido sistema é não considerar a iluminação natural.

Sugere-se que sejam desenvolvidos mais estudos com relação à implementação de inteligência no contexto arquitetônico, o que já vem ocorrendo em resposta ao desejo de aumentar as capacidades funcionais de vários subsistemas. Estes não devem ser limitados ao desenvolvimento de versões automatizadas de sistemas que são comumente usados no cenário arquitetônico, mas envolver a criação de estratégias para aumentar a inteligência e as capacidades dos materiais de construção, englobando aspectos de segurança, economia, eficiência e sustentabilidade.

6.2 CONCLUSÕES QUANTO AO PROGRAMA VISUALDOE VERSÃO 2.61

Conclui-se após a primeira tentativa de simular o edifício no programa que a arquitetura do prédio era muito complexa para o VisualDOE 2.61. O projeto composto por dois blocos principais e um secundário de ligação, onde os primeiros possuem prisma de iluminação e ventilação internos, chanfros nos vértices externos de cada caixa quadrada e retorno do ar condicionado pelo *plenum,* criou um número muito maior de superfícies do que o programa poderia suportar, embora o prédio seja relativamente baixo.

É importante notar como o programa entende uma superfície, já que não é exatamente a mesma definição que existe na prática de um profissional das áreas da arquitetura e engenharia. Quando se fala em fachada se todo o fechamento estiver no mesmo plano, isto é sem recuo ou saliência com relação ao plano principal, diz-se se tratar de uma única superfície. Para o programa cada linha que forma o perímetro de zona[38] é uma superfície, embora na realidade algumas estejam no mesmo plano com relação à outra zona.

E ainda, quando o retorno do ar condicionado é feito por *plenum* o programa divide aquela fachada verticalmente, o trecho de superfície que já é limitado pela zona, em duas novas superfícies, aumentando ainda mais o número de superfícies externas. Com base na experiência adquirida pôr meio deste trabalho, pode-se sugerir o seguinte para o desenvolvimento de um novo projeto:

1. inserir a geometria do edifício inicialmente o mais simplificado possível. No caso em questão, poderia ter-se eliminado os chanfros, que eram relativamente pequenos em relação ao volume dos blocos, e tê-los incorporado como área nas

[38] Zona neste contexto é um cômodo da edificação, como por exemplo: banheiro, escada ou uma parte do escritório condicionado pelo mesmo *fancoil*.

fachadas adjacentes aos mesmos. Nos blocos do subsolo e telhado poderia ter sido criada apenas uma única zona, ao invés de três para cada bloco como ocorreu;

2. simular o edifício inicialmente logo após a inserção da arquitetura, ou seja, da caracterização geométrica. Nesta fase não se deve preocupar com os demais dados, deixando o *default* do programa apenas para rodar a simulação. Verificando então se está tudo certo, se os blocos e as superfícies estão de acordo com o programa, para depois inserir os dados reais. Pois apagar um bloco e inseri-lo com as modificações na geometria, significa perder todos os dados antes inseridos relativos a ele;
3. verificar se o retorno é feito por pleno, se for, precisa multiplicar o número de superfícies externas das zonas por dois. Como foi visto anteriormente o programa considera a superfície vertical dividida, uma superfície na altura do *plenum* e a outra abaixo;
4. no caso da edificação trabalhada possuir fachada em pano de vidro, como o deste estudo, adotar uma grande janela, ao invés de várias janelas menores. A área envidraçada total não muda, mas fica mais coerente com relação à arquitetura do edifício real ou projetado.

No caso simulado, se tivéssemos experiência suficiente para ter seguido os itens 2 e o 3 acima, constataríamos inicialmente o número de superfícies antes de inserir os dados nas zonas. Não mudaria em nada o experimento simulado mas teríamos economizado muitas horas do nosso trabalho. Então poderíamos ter adotado outras soluções, tais como, simular todo o conjunto com simplificações na geometria, dois blocos em separado e mais o do meio, ou dividir o prédio em dois blocos tendo cada

bloco a metade do bloco de ligação (escada enclausurada e elevadores). Depois somaríamos as contas de energia elétrica e chegaríamos ao mesmo resultado.

Como os blocos são semelhantes, a caixa é idêntica, mas os usos são um pouco diferenciados e teria que considerar sua posição no terreno seria relativamente simples fazer a segunda simulação a partir da primeira, salvando as principais configurações.

Com relação aos nomes dos materiais construtivos criados na biblioteca deve-se evitar repetição dos nomes, mesmo quando são idênticos em sua composição. No *Constructions Builder*, existe uma divisão em tipos e categorias, onde os tipos subdividem-se em paredes, pisos, telhados, partições entre outros. Sendo assim, faz-se necessário em determinadas ocasiões criar o material mais de uma vez, pois ora será utilizado como piso, em outra ocasião como teto e assim por diante.

Sugere-se a criação do mesmo nome acrescentando apenas uma letra no final para diferenciá-lo, por exemplo, PISOFRIO – Citta quando incluído no tipo *Floor* deveria ser nomeado como PISOFRIOF – Citta e quando representado em *Roof* , PISOFRIOR – Citta. Isto, pois manter o mesmo nome facilita a identificação daquela composição.

Neste estudo de caso, foi necessário modificar a composição desse material no telhado e não no piso gerando um re-trabalho. Pois tanto no piso quanto no telhado eles eram PISOFRIO – Citta. Quando ocorreu o problema e teve-se que criar um teto para compensar a retirada do pleno este novo nome teve que ser inserido no lugar do PISOFRIO – Citta na opção *Roof* em todos os blocos para que o programa pudesse fazer a associação quando estivesse simulando o edifício. O fato ocorreu por motivos alheios à vontade dos usuários, se tivesse sido adotada a sugestão do parágrafo anterior isso não ocorreria.

Procurou-se com a descrição detalhada dos comandos utilizados, e ainda, dos vários erros e situações encontradas ao longo da inserção dos dados do edifício no modelo, fazer com que o usuário inicial deste *software* tenha uma boa noção, da operação do programa, das dificuldades existentes, da falta de um manual melhor elaborado e das diversas limitações do mesmo. Uma vez que as dificuldades são diversas como foram constatadas pela equipe do projeto seis cidades, coordenado pelo PROCEL-ELETROBRÁS (citado no terceiro capítulo).

Acredita-se tornar-se possível usar este *software* em escritórios de arquitetura na concepção de novas edificações, seu uso deveria ser pontual, comparando uma solução mais adequada para aquele caso, para solucionar dúvidas relacionadas a materiais construtivos, justificar a implantação de um sistema de condicionamento artificial com custo inicial mais alto, enfim, uma série de situações particulares. Partindo-se do princípio de que o projetista tenha conhecimento de princípios de conforto ambiental e eficiência energética na arquitetura.

Pois, desta forma o *software*, será capaz de fazer simulações simples, criando blocos apenas para testar determinadas variáveis, sempre considerando a orientação da edificação no terreno. A viabilidade de seu emprego para concepções arquitetônicas como desenvolvido neste trabalho, aqui o edifício foi exaustivamente detalhado, consumindo um número grande de horas, embora tenha sido utilizado para fazer um diagnóstico energético, justifica-o. O programa presta-se para uma análise energética mais profunda que deveria ser desenvolvida por um especialista em eficiência energética nas edificações.

Constatou-se que após a calibração do modelo foi possível testar diversas alternativas arquitetônicas visando o aumento da eficiência no uso da energia elétrica do prédio em estudo. Todas as alternativas foram quantificadas em termos de consumo de

energia elétrica para condicionamento de ar e no total de energia elétrica da edificação, fornecendo subsídios concretos para utilização desses dados em projetos de arquitetura.

O mais indicado seria que o arquiteto coordenasse o trabalho de uma consultoria em eficiência energética nas edificações, como mais um dos projetos complementares, de fundamental importância para o correto desempenho funcional de uma edificação.

Como foi visto nas simulações executadas, embora o projeto do prédio, estudo de caso, já tenha considerado a eficiência energética, se fossem adotadas todas as medidas sugeridas conseguiria-se uma economia de energia elétrica em torno de 18% se comparado com o edifício atual. Isto sem prejuízo da estética, funcionalidade ou do conforto ambiental. Resultado alcançado com alterações no material construtivo e com pequenas mudanças na arquitetura sem alteração do estilo arquitetônico.

Não se fez uma análise econômica das soluções propostas, pois não era o foco do trabalho. Todas as medidas propostas apresentam elementos de razoabilidade econômica quanto aos custos e são comumente empregadas nesta tipologia de edifícios.

6.3 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Após as simulações pode-se responder a questão levantada no início do trabalho: Quais são as alternativas arquitetônicas para o aumento da eficiência no uso de energia elétrica por edifícios comerciais?

O vidro adotado SS08 é adequado, pois não há problemas com relação à acústica. Determinados vidros duplos chegam a piorar o consumo de energia elétrica, o pior desempenho termo-energético foi do vidro laminado cristal de 6mm e o melhor foi o vidro claro SS08 duplo com argônio. Conclui-se a importância de escolha de um vidro adequado, principalmente em edificações que possuam pano de vidro, onde a área

envidraçada é muito extensa, pois o impacto no consumo de energia elétrica total é bastante elevado. Deve-se evitar o efeito estufa, impedindo que a radiação solar direta incida sobre o vidro.

É importante enfatizar que os melhores resultados em termos de eficiência energética e conforto ambiental encontram-se na fase inicial do projeto arquitetônico. Pois, nesta fase são definidas as soluções arquitetônicas: implantação, volumetria e elementos para sombreamento da edificação. Estes dispositivos para sombreamento devem ser incorporados ao edifício de forma harmoniosa e de modo a favorecer a eficiência energética da edificação.

É possível conceber um projeto eficiente em energia elétrica, com dispositivos bioclimáticos que incorpore alta tecnologia, pode-se citar como exemplo o edifício Berliner Bogen (1998/2002), do BRT Arquitetos (PAIVA, 2003). A Alemanha possui bons exemplos, sendo dos países europeus um dos que mais defendem a implantação de edifícios econômicos no consumo de energia.

Os edifícios apresentam uma elevada dinâmica de crescimento, quer em termos de número total de edifícios existentes, quer em termos de utilização de energia em cada edifício. Trata-se também de um setor muito heterogêneo, englobando alguns edifícios muito eficientes e outros claramente mau utilizadores de energia havendo, portanto, um elevado potencial para melhoria. No caso específico deste trabalho, foi analisada uma única tipologia a dos edifícios de escritórios, porém, ainda existe uma gama de outras tipologias a serem analisadas em trabalhos futuros, inclusive poderia se mapear a porcentagem de prédios por tipologia.

Torna-se relativamente difícil intervir nos edifícios com o objetivo de torná-lo eficiente em energia elétrica, por várias razões, destacam-se entre elas:

- envolvem um elevado número de agentes (corretores, projetistas, construtores, incorporadores e usuários) com objetivos muito distintos, até mesmo contraditórios entre si;
- as mudanças são lentas, pois como a vida média de um edifício é de cerca de 50 anos, a taxa de renovação da área construída e de cerca de 2% ao ano, o que exige atuação não só no que se constrói de novo, mas também na renovação do existente;
- tanto as indústrias da construção civil, quanto a das instalações técnicas são tradicionalmente muito conservadoras e resistentes às mudanças, imperando ainda técnicas quase artesanais e predominando as preocupações de menor custo inicial, sendo difícil a penetração de soluções modernas mais eficientes, freqüentemente sofisticadas em termos tecnológicos;
- não há ainda muitos casos exemplares de demonstração com visibilidade que sirvam de inspiração e motivação para com os agentes que, de forma geral, não estão suficientemente bem informados, nem sequer sensibilizados para problemática envolvendo o tema.

Embora este último item esteja sendo trabalhado em escala mundial a nível de sustentabilidade. No Brasil, como foi visto anteriormente, essa abordagem é recente (metodologia desenvolvidda pelo PROCEL, INMETRO) e enfoca somente a questão da eficiência energética na edificação, com pequenas bonificações para aspectos de sustentabilidade. Considerando como bônus os sistemas e equipamentos que racionalizem o uso da água, tais como economizadores de torneira, sanitários com sensores, aproveitamento de água pluvial; sistemas ou fontes renováveis de energia; sistemas de cogeração, que devem proporcionar uma economia mínima de 30% no consumo anual de energia elétrica do edifício; inovações técnicas ou de sistemas que

comprovadamente aumentem a eficiência energética da edificação, proporcionando uma economia mínima de 30% do consumo anual de energia elétrica.

A classificação da edificação é de caráter voluntário para edificações novas e existentes e passará a ter caráter obrigatório para edificações novas em prazo a definir. Sinalizando um amadurecimento da questão, dentro de um processo lento mais progressivo. As certificações internacionais como a LEED, abrangem desde a eficiência energética da edificação até questões de inserção do edifício na malha urbana, utilização de materiais regionais e não poluentes, cogeração de energia no local, aproveitamento dos recursos locais, reutilização e eficiência no uso da água, entre outros aspectos.

Existe o selo brasileiro de certificação de construções sustentáveis adaptado à realidade brasileira, o AQUA para a disseminação de práticas sustentáveis. Desenvolvido pela Fundação Vanzolini, criada e gerida pelos professores do Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), inspirado no selo francês HQE. Inicialmente foi lançado no mercado o referencial para edifícios comerciais e escolas.

O AQUA é o primeiro selo que levou em conta as especificidades do Brasil para elaborar seus 14 critérios que avaliam a gestão ambiental das obras e as especificidades técnicas e arquitetônicas. São eles: eco-construção (relação do edifício com o seu entorno; escolha integrada de produtos, sistemas e processos construtivos e canteiro de obras com baixo impacto ambiental); gestão (da energia; da água; dos resíduos de uso e operação do edifício e manutenção: permanência do desempenho ambiental); conforto (higrotérmico; acústico; visual e olfativo); saúde (qualidade sanitária dos ambientes; do ar e da água).

Qualquer política de energia, além de promover a substituição de insumos esgotáveis (combustíveis fósseis) e a diminuição da intensidade do uso de energia,

deveria estimular a eficiência energética e o combate ao desperdício por meio de instrumentos de regulação, como a especificação de códigos com consumo máximo de energia em construções ou padrão de desempenho e melhorias em equipamentos para garantir a incorporação de novas tecnologias, mais eficientes, pelos fabricantes.

A adoção de normas para tornar as construções mais eficientes no consumo energético com aproveitamento da luz solar e da ventilação naturais pode dispensar integralmente, em vários casos, a necessidade de iluminação artificial e sistemas de ar condicionado. O Brasil dispõe de excelente quantidade de luz natural ao longo do ano, mas a arquitetura que utiliza, reflete padrões de países com clima temperado e o nível de eficiência verificado eqüivale àquele de países menos desenvolvidos, como Bangladesh.

A análise deste trabalho leva às seguintes conclusões:

- a alteração no sistema de iluminação pode representar um potencial de economia de energia elétrica considerável (9,36%), embora já utilizasse lâmpadas, luminárias e reatores eficientes, conseguiu-se, com a instalações de *dimmers* (integração da luz natural a artificial), uma economia das mais altas se comparado a todos os outros itens simulados individualmente. Com a diminuição da utilização de iluminação artificial, o consumo de ar condicionado baixa, reduzindo assim o total;
- confirma-se que a radiação solar é a principal fonte de ganho de calor na edificação. Deve-se, portanto desenvolver soluções que minimizem seus efeitos seja, através da escolha de um vidro termicamente eficiente, pelo sombreamento externo da edificação, pela utilização de cores claras externamente, pela utilização de materiais com baixa transmitância térmica ou, orientação mais adequada;

- confirma-se que os fechamentos transparentes são os principais elementos de ganhos ou perdas térmicas em edificações. Comparado o vidro incolor laminado de 6mm com o vidro SS08 eficiente adotado, nota-se que o aumento de energia é muito grande, na ordem de 11,8%. Pode-se observar a importância da escolha do vidro com critério considerando-se nesta análise o clima. Em climas, como o do Rio de Janeiro, que não existe grandes variações térmicas, o vidro eficiente pode ser utilizado em fachadas de vidro, pois apresenta a vantagem de possuir uma resposta térmica relativamente rápida, inércia térmica baixa, e apresenta o benefício da valorização dos espaços, com aumento da sensação de conforto para os usuários da edificação;
- uso de proteções solares externas tem grande importância no clima da cidade do Rio de Janeiro, pois bloqueia a radiação direta antes de sua penetração pelo vidro, evitando o efeito estufa. Como o edifício é todo envidraçado sem abertura em suas fachadas e possui terraço descoberto, as proteções solares externas são recursos de grande importância para reduzir os ganhos térmicos. O fato da altura do prédio ser relativamente baixa faz com que a solução mais conveniente seja o plantio de árvores perenes externas a edificação. Constatou-se que todas as medidas que empregaram em sua base sombreamento deram bons resultados, melhores do que as soluções que utilizavam materiais com baixa transmitância térmica ou maior inércia térmica;
- finalmente, o uso de materiais com maior inércia térmica, que é considerado uma das tecnologias passivas largamente utilizada na arquitetura bioclimática, deve ser usado com critério. Pelos resultados das simulações,

> pode-se concluir que a laje com isopor aumentou um pouco a eficiência energética e as paredes em alvenaria em alguns casos diminuíram-na, quando o vidro utilizado foi o simples de 6mm. O que vem na contramão do senso comum, de que edifícios com fachadas totalmente envidraçadas consomem mais energia que uma edificação tradicional. Contrariando também o falso sentimento de que a utilização de materiais isolantes, como o isopor resulta sempre em uma melhoria muito significativa no desempenho energético da edificação.

Usualmente as técnicas construtivas enfatizam a agilidade na construção da edificação e um rápido retorno dos investimentos, em detrimento aos benefícios relativos ao uso dessa edificação ao longo dos anos. Como inicialmente os benefícios econômicos resultantes da eficiência energética não são atrativos, pois é considerado um investimento de longo prazo, os investidores tendem a não considerá-lá.

Devido a estas constatações pode-se concluir que quanto mais houver incentivos, tanto econômicos, para os empreendedores, quanto dos meios de comunicação, e informações sobre impactos ambientais causados pelo uso não racional da energia, especialmente da energia elétrica tratada neste trabalho, melhor. Despertando assim, cada vez mais a mensagem que deve ser transmitida ao cliente comprador de unidades da edificação, que passaria então a exigir a eficiência energética do edifício como diferencial para aquisição do mesmo.

Faz-se fundamental a valorização de ações concretas, estimulando o surgimento de mais profissionais especializados no assunto eficiência energética e conforto ambiental capazes de fornecer consultorias, subsidiando os arquitetos voltados para o projeto da edificação. Recomenda-se a contratação de profissional especialista em eficiência energética, como parte integrante dos projetos complementares ao

arquitetônico, como é de praxe para instalações elétricas, hidráulicas, e estruturas entre outros.

Um ponto conclusivo que não deve ser negligenciado é a importância da interação dos diversos agentes em programas do uso eficiente de energia, no âmbito institucional (BNDES/PROEN, PROCEL, CONPET); governos estaduais e municipais; universidades e centros de pesquisa; agentes privados; indústrias; produtores independentes de energia; empresas de serviços energéticos. O desafio é complexo, mas deve-se reconhecer que a eficiência energética está ligada a questões chaves de produtividade, ao meio ambiente e a equidade social.

Trabalhos relacionados à cobertura vegetal e aplicação do componente vegetal na arquitetura brasileira deveriam ser desenvolvidos no futuro. Uma análise quantitativa relacionada à reflexão e absorção da radiação solar no emprego da vegetação em superfícies externas também é necessária. De forma que se tenha subsídio técnico para justificar sua implementação nas edificações como elemento de eficiência energética.

Neste trabalho não foi abordado a questão do uso da água, mas na literatura desenvolvida existem alguns trabalhos que demonstram que o *chiller* utilizado para condicionamento de ar, consome bastante água. Seria interessante do ponto de vista ambiental fazer um estudo sobre este consumo e estabelecer alternativas para o reuso da água do edifício estudo de caso.

Uma outra limitação desta tese é que o edifício estudo de caso é representativo de apenas uma parcela do total de edificações produzidas na cidade do Rio de Janeiro, tanto pela sua tipologia quanto pela sua configuração urbana. O terreno possibilitou ao arquiteto trabalhar o edifício pensando na orientação solar adequada, no sombreamento por prédios vizinhos e no plantio de árvores. Em várias outras situações o arquiteto tem a possibilidade de orientação limitada pois está trabalhando com terreno pequeno ou em

área muito densa, sem opção de trabalhar esses parâmetros descritos anteriormente. Embora o estudo desenvolvido apresente diversas alternativas, como por exemplo, a utilização de brises, que se enquadra em outro contexto e em *retrofits*.

A energia solar no Brasil pode ser mais explorada, não só na produção de água quente através do uso de aquecedor solar, mas também no uso de painéis solares para gerar eletricidade. A energia solar é abundante no país e é considerada uma fonte de energia limpa. A China está investindo em energias renováveis, solar, eólica e biogás para sua matriz energética. Com destaque na energia ecológica, especialmente a solar, a China está entre os três maiores produtores mundiais de painéis fotovoltaicos.

A energia solar fotovoltaica, que gera eletricidade diretamente a partir da luz do sol é simples, confiável, segura e silenciosa. É uma eletricidade livre de qualquer poluição. Existem exemplos de edifícios comerciais na China e em outros paises que usam exclusivamente energia solar através das fachadas recobertas por painéis solares para geração de energia elétrica. Mais trabalhos na área de geração fotovoltaica integrada à edificação deveriam ser desenvolvidos no Brasil. Sua importância é crescente embora atualmente o custo ainda seja elevado, seria interessante para futuros desdobramentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR-5413 - Iluminância de interiores**. ABNT, 1991.

___. NB-10 NBR 6401 - Instalações centrais de ar condicionado para conforto. ABNT, 1980.

___. **Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações**. ABNT, 2003.

ABRAVA, revista. **Refrigeração, ar condicionado, ventilação e aquecimento**. São Paulo, ABRAVA, No. 169. Ano 23.

A. F. Tzikopoulos, M. C. Karatza, J. A. Paravantis, "Modeling energy efficiency of bioclimatic buildings". **Energy and Buildings**, v. 37, pp. 529-544, 2005.

AGRA Filho, Severino Soares. **Os Estudos de Impactos Ambientais no Brasil – uma análise de sua efetividade**. M.Sc. Tese – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro, 1991.

ALUCCI, Marcia Peinado et al. **Desempenho Térmico e Luminoso de Vidros e Policarbonatos**. Projeto de pesquisa do Departamento de Tecnologia da FAU-USP. Disponível em: http://www.usp.br/fau/deptecnologia/docs/bancovidros/1.htm. Acesso em: agosto de 2006.

ARAUJO, Luís Otávio Cocito. **Método para a previsão e controle da produtividade da mão-de-obra na execução de formas, armação, concretagem e alvenaria**. M.Sc dissertação – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

ASHRAE - *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*. ***ASHRAE Green Guide***. Atlanta, 2010.

BALANÇO, Energético Nacional, 2009. Disponível em: http://www.mme.gov.br/site/search.do?query=benBalan%E7o+energetico+nacional. Acesso em: Junho de 2009.

BALTAR, M. G. **Redução da Demanda de Energia Elétrica Utilizando Parâmetros Construtivos Visando ao Conforto Térmico**, M.Sc dissertação, Pontíficia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

BARROSO-KRAUSE, Cláudia. **Ciência e concepção arquitetônica: reintegrando tecnologia e arquitetura**. In: Vicente Del Rio. (Org.). Arquitetura: Pesquisa & Projeto.1 ed. São Paulo, Editora Pro-Editores, 1998.

BARROSO-KRAUSE, Cláudia; RODRIGUES, J. A. P.; MAIA, J. L. P.; *et al*. **Manual de Prédios Eficientes em Energia Elétrica**. 1. ed. Rio de Janeiro, IBAM/PROCEL/ELETROBRAS, 2003.

BARROSO-KRAUSE, Cláudia; LOMARDO, L; MAIOR, F. S; *et al*. **Eficiência Energética em Habitações de Interesse Social**. 1. ed. Brasília, Cadernos MCIDADES, 2005.

BOLEA, M. T. ***Evaluación del impacto ambiental***. Madrid: Fundación MAPFRE, 1984.

BUHL, W.F.M.. ***DOE-2.1E engineers manual, loads overview***. Califórnia, *Lawrence Berckeley Laboratory,* 1994.

BUHL, W.F.; BIRDSALL, B.; ERDEM, A.E.; *et al*. ***DOE-2 BASICS, VERSION 2.1E***. Camarillo, CA, 1994.

Cadernos do PROARQ 6. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1999.

Cadernos do PROARQ 9. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

CARLO JC (2005). Relatório Técnico LabEEE-200504: **Processamento de Arquivos Climáticos para Simulação do Desempenho Energético de Edificaçõe**s [*online*]. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Engenharia Civil, UFSC. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/downloads/RT200504.pdf. Acesso em: 04 jan. 2009.

CASTRO, J. N. S**.. Edifícios de Alta Tecnologia**. São Paulo, Carthago e Forte, 1994.

CAPOZZI, S. **Além da tecnologia**, in Construção. São Paulo no. 2542, out. 1996.

CERVO, A. L., BERVIAN, P. A. **Metodologia Científica**. 5 ª edição, São Paulo: Makron Books, 2002.

CIMINO, M. A. **Construção sustentável e ecoeficiência**. Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina, 2002. Disponível em: http://www.editorasegmento.com.br/semesp2/detalhes_tese.php?cod_tese=10. Acesso em: 10 jan. 2003.

CLARCKE, J.. ***Energy simulation and building design***. Second Edition. Elsevier, 2001

CLARCKE, J.; HAND, J. *and* STRACHAN, P. ***ESP-r, a program for building energy simulation, version 8 series, ESRU manual U93\1***. In: ESP *Course Notes, BackGround Notes*, ESRU, *University of Strathclyde, Glasgow,* 1993.

COCH, H. *Chapter 3*: "Bioclimatism in vernacular architecture", **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 12, pp. 67-87, 1998.

CORREA, R. M. **Qualidade em Instalações Prediais: Estudo de Projeto de Edifícios Inteligentes**. M.Sc. dissertação em Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense. Niterói, 1995.

COSTA, Ennio C. da. **Física Aplicada à Construção – conforto térmico**. São Paulo. Ed. Edgard Blucher.1974.

COSTA, Renato Aurélio Castro. **Determinação de estoques entre postos em linhas não balanceadas e sujeitas a paradas na indústria de manufatura**. M.Sc. dissertação em Engenharia Mecânica, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2003.

COX, P. e BOEL, M. F. DIRECTIVA 2002/91/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 16 de Dezembro de 2002, **relativa ao desempenho energético dos edifícios**. Bruxelas: Jornal Oficial das Comunidades Européias, 2003.

DOE ***- The Department of Energy's 200, Strategic Plan.*** Disponível em: http://strategicplan.doe.gov/. Acesso em: 12 maio 2003.

DOMINGUES, Diana et al. **Arte e vida no século XXI: tecnologia, ciência e criatividade**. Organizadora Diana Domingues. São Paulo: Editora UNESP, 2003.

EGGENBERGER, A. ***Bauphysikalishe Vorgänge im begrünten Warmdach.*** *Das Gartenamt*, 6/32, 1983.

EKATERINI, E.; DIMITRIS, A. "The contribution of a planted roof to the thermal protectionof buildings in Greec". **Energy Buildings** v. 27, n.3, pp. 19-36, 1998.

ENGEVISTA: Publicação de Escola de Engenharia da UFF – V.6, n.3 p.1-129. Niterói: EdUFF, out. 2005.

FABERON, J. Y.. ***La Maitrise de l'energie, Cadre Juridique et Bilan. La Documentation Française***. Paris, 1987.

FABRÍCIO, M. M. **Projeto Simultâneo na Construção de Edifícios**. Tese de D.Sc., Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica/USP, 2002.

FACHIN, O. **Fundamentos de metodologia**. São Paulo: Atlas, 1993.

FLORIM, L. C.; QUELHAS . **Contribuição para a Construção Sustentável: características de um Projeto Habitacional Eco-eficiente**. Engevista (UFF), 2004

FRAZATTO, Cezar W. P. **Edifícios Inteligentes Conceitos e Avaliação**. BICSI Brasil, 2001.

GÖMES, L. A. **Considerações sobre o DOE2.1E**. NPC, UFSC, 1994.

GUELLER, H.S. **Efficient electricity use: a development strategy for Brazil**. American Council for an Energy-Efficient Economy, Washington, DC, 1991.

GUELLER, H. **O Uso Eficiente da Eletricidade, uma Estratégia de desenvolvimento para o Brasil.** Editora. Rio de Janeiro, 1994.

GUELLER, H.; ABREU, R.; LIMA, C. E., et al.. **Evaluation of the energy savings due to Brazil's National Electricity Conservation Program (PROCEL)**. PROCEL-ELETROBRAS, Rio de Janeiro, 1997.

GOLDEMBERG, Jose. **Energy Needs in Developing Countries and Sustainability.** Science, Vol. 269, 1995.

GOULART, Solange V. G. **Dados Climáticos para Avaliação de Desempenho Térmico de Edificações em Florianópolis**. UFSC, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 1993.

GOULART, Solange; LAMBERTS, Roberto; PEDRINI, Aldomar; SILVEIRA, Vilmar Grüdtner; CATTO, Alessandro. **Eficiência energética: estudo de *retrofit* para um edifício comercial em Florianópolis.** ENCAC 97 - IV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Salvador, 1997.

YEANG, Ken; Balfour, Alan et al. **Ken Yeang: Bioclimatic Skyscrapers**. Artemis, London. (Reprinted in 1998 by Ellipsis), 1994.

HARRIMAN, M. "Buildings get smarter". **Architecture**, v.80, Junho 1991.

HARTKOPF, Volker et al. **Designing the Office of the Future – the japonese approach to tomorrow`s workplace**. New York, John Wiley & Sons, 1993.

HINRICHS, R. A. e KLEINBACH, M. **Energia e Meio Ambiente.** Tradução da terceira edição norte-americana (Tradução técnica Flávio Maron Vichi, Leonardo Freire de Mello), São Paulo, *Thomson Learning*, 2003.

HOLDGATE, M. W. **A perspective of environmental pollution**. UK: Cambridge University Press; 1979.

JANDA, K. B. e BUSCH, J. F.. **Worldwide Status of Energy Standarts for Buildings**. In: ACEEE Summer Study on Energy Efficiency, Montrey, 1994.

JANNUZZI, G. M.; ROMEIRO, A. et al. **Agenda elétrica sustentável 2020: estudo de cenários para um setor elétrico brasileiro eficiente, seguro e competitivo.** WWF-Brasil. Brasília, 2006, p.80.

KAPLAN, Robert S. **New systems for measurement and control**. The engineering economist**,** 1991.

KEARNEY, P. **Energy efficiency in commercial buildings**. Master builder Magazine, 39: 40-41. 2002

KUA, H. W., LEE, S. E.. **Demonstration intelligent building - a methodology for the promotion of total sustainability.** Building and Environment, 2001.

KONOPACKI, S. and AKBARI, H. 1996. **Estimates of Energy Consumption by Building Type and End Use at U.S. Army Installations**. Lawrence Berkeley National Laboratory Report LBL-38577. Berkeley, CA.

LAMBERTS, Roberto et al. **Eficiência Energética na Arquitetura. PW Editores.** São Paulo, 1997.

LAMBERTS, R., Carlo, J. **Regulamentação de eficiência energética em edificações**. 2008.

LAMBERTS, Roberto et al**. Sustentabilidade nas edificações: contexto internacional e algumas referências brasileiras na área.** [online]. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Engenharia Civil, UFSC. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/sustentabilidade/index.html. Acesso em 16 agosto 2010.

LAKATOS E. M., MARCONI M. A. **Metodologia do trabalho científico: procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projeto e relatório, publicações e trabalhos científicos**. 6ª ed., 7. reimpr., São Paulo: Atlas, 2006.

La ROVERE, E. L. **Climate Change Convention: A Tool For Sustainable Development.** Economies Et Societes, 1998.

___. **Política Ambiental e Planejamento Energético**. Rio de Janeiro, UFRJ, COPPE, PPE, LIMA, 1995.

___. **Um enfoque alternativo para o Planejamento Energético.** São Paulo, Revista ABG nº 5, pp. 28-32, 1986.

La ROVERE, E. L.; COSTA, R. C. **Énergie et Ecodéveloppement au Brésil**. *Rio+10 Johannesburg, Énergie et Ecodéveloppement*, 2002.

LEVINE, M. D. et al. **Energy and energy efficiency in buildings: a global analysis**. In: ACEEE Summer Study on Energy Efficiency, Montrey, 1996.

___. **Electricity end-use efficiency: experience with technologies, markets, and policies throughout the world.** Energy, vol. 20, 1995.

LOMARDO, L. L. B. **Estudo Para uma Regulação de Estimulo a Eficiência Energética dos Edifícios**. Rio de Janeiro, COPPE, UFRJ, PPE, 2000.

___. **Consumo de Energia nos grandes prédios comerciais: estudo de casos**. Rio de Janeiro, COPPE, UFRJ, 1988.

LORA, Electro Eduardo Silva. **Prevenção e Controle da Poluição nos Setores Energético, Industrial e de Transporte.** Brasília: ANEEL, 2000.

LOVINS, A. **Energy Controversy Softpath, Questions and Answers**. San Francisco, Friend Earth, 1979.

M. KARAVASILI. **Heating-air conditioning [in Greek]**, Weekly Bulletin, Techinical Chamber of Greece, vol. 2125, novembro 2000.

MACHADO, A. C. **Energy and Information in Society**. 1. ed. Ann Harbor: UMI Dissertation Services, A Bell and Howel Co.l, v. 1. 365 p, 1994.

MACHADO, A. C.; MILLER, R. E. . **Empirical relationships between the energy and the information segments of the US economy**. Energy Policy, Londres, v. 25, n. 11, pp. 913-921, 1997.

MACHADO, Campos Aluisio. **Pensando a Energia**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 1998.

MAIA, Ana Cristina Braga. **Eficiência Energética em Edificação Residencial – Soluções e Técnicas Adotadas em Prédio Multifamiliar no Recreio dos Bandeirantes/RJ**.Tese MsC. em Arquitetura, PROARQ, UFRJ, , 2002.

MARTINEZ, M. F.; ALVES, M. B.; PEREIRA, L. A. e BEYER, P. O. **Redução de consumo de energia elétrica através de conceitos *green building*.** Eletrônica de Potência, vol. 14, n. 2, maio de 2009.

MASCARÓ L. **Energia na Edificação**. Projeto Editores Associados Ltda, São Paulo, 1991.

Mc QUISTON, F. C. *and* SPITLER, J. D. **Cooling and Heating Load Calculation Manual**. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engenieers, 1994.

MME – Ministério de Minas e Energia. **Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações.** Disponível em: http://www.eletrobras.gov.br/. Acesso em junho 2010.

MUNCH-Andersen Jorgen. "Improving Thermal Insulation of Concrete Sandwich Buildings". **Indoor Built Environ** v.18, n.5, pp. 424-431, 2009.

NOGUEIRA, L. A. H.; HADDAD, Jamil et al.. **Disseminação de Informações em Eficiência Energética. Eficiência Energética aplicada para comércio e indústria**. PROCEL- Eletrobrás, 2004.

OLGYAY, Victor. **Bioclimatic approach to architecture**. *BRAB Conference Report No. 5*. Washington: National Research Council, 1953.

___ **Design with Climate**. *Princeton: Princeton University Press*, 1963.

PAIVA, C. **Proteção climática e acústica**. Revista Finestra, São Paulo, Arcoweb, n. 35, pp. 51-53, out./nov./dez. 2003.

PATUSCO, J. A. M. **Balanço Energético Nacional**, Ministério das Minas e Energia. Brasília, 2003.

PEDRINI, Aldomar. **Desenvolvimento de Metodologia de Calibração de Modelos para Simulações Térmica e Energética de Edificações**. UFSC, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 1997.

___. **Integration of Low Energy Strategies ti the early Stages of Design Process of Office Buildings in Warm Climate**. Austrália, 2003.

Portal das Energias Renováveis. Eficiência Energética nos Edifícios. Disponível em: http://www.eficiencia-energetica.com/html/eee/eee.htm. Acesso em 10 setembro 2010.

PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia. **Manual de Conservação de Energia Elétrica Edifícios Públicos e Comerciais**. Eletrobrás, 1994.

PROCEL INFO. Disponível em: http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={623FE2A5-B1B9-4017-918D-B1611B04FA2B}&Team=&params=itemID={C46E0FFD-BD12-4A01-97D2-587926254722}%3BLumisAdmin=1%3B&UIPartUID={D90F22DB-05D4-4644-A8F2-FAD4803C8898}. Acesso em 04 agosto 2010.

RATTI, C.; RAYDAN, D.; STEEMERS, K. "Building form and environmental performance: archetypes, analysis and na arid climate", **Energy and Buildings**, vol. 35, pp. 49-59, 2003.

Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Anexo da Portaria INMETRO n° 163, 2009.

REIWOLDT, Otto. **Intelligent Spaces – architecture for the infformation age**. London: Calmann & King, 1997.

RHEINGANTZ, P. A. **Aplicação do Modelo de Análise Hierárquica COPPETEC-COSENZA na Avaliação do Desempenho de Edifícios de Escritório**. Rio de Janeiro, COPPE, UFRJ, D.Sc., Engenharia de Produção, 2000.

ROETZEL A, TSANGRASSOULIS A, DIETRICH U, BUSCHING S. "A review of occupant control on natural ventilation". **Renewable and Sustainable Energy Reviews** v.14 n. 3, pp.1001-1013, 2010.

RORIZ M (1995) **Luz do Sol - Um *software* para estimar o calor e a luz provenientes do Sol** [online]. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/software/luzDoSol.html Acesso em 04 março 2009.

ROSENFELD, A. E MILLS, E. **Consumer Non-Energy Benefits as a Motivation for Making Energy-efficiency Improvements.** ACEEE Summer Study on Energy Efficiency, Montrey, 1996.

ROSENFELD, A. et al.. **Energy efficiency as a commodity: the emergence of an Efficiency Secondary Market for Savings in Commercial Buildings.** Em: ACEEE Summer Study on Energy Efficiency, Montrey, 1996b.

SACHS, I. **Estratégias de Transição para o Século XXI**, 1992.

SANTOS, Ariaman. **Sistemas de Ar Condicionado. Módulo V**. Centro de Produção da UERJ. Rio de Janeiro, 1999.

SEVÁ Filho, A. O. **Urgente: Controle ao risco tecnológico**. São Paulo, cadernos Fundap – Planejamento e Gerenciamento Ambiental, junho, 1989.

SHIPARD, Darren. A Realidade dos Edifícios Inteligentes. **Disponível em: http://www.din.uem.br/ia/intelige/domotica/p2_hist.htm. Acesso em 28 de junho de 2007.**

SIGNOR, Regis. **Análise de Regressão do Consumo de Energia Elétrica frente a Variáveis Arquitetônicas para Edifícios Comerciais Climatizados em 14 Capitais Brasileiras**. UFSC, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Santa Catarina, 1999.

SOUZA, M. de. **Automação predial: inteligente é você**. Revista Téchne, São Paulo, PINI, n.18, 1995.

SOUZA, U. E. L.; Araújo, L. O. C. **Desperdício de mão-de-obra na construção: Avaliação para o caso dos revestimentos internos com argamassa de paredes internas**. São Paulo, 2005.

STREET, T.R. Oke. "Design and urban canopy layer climate". **Energy and Buildings**, vol. 11, pp. 103-113, 1988.

Sustainable Energy Authority. **Energy Smart Building Design – Architectural Issues**, Sustainable Energy Authority Victoria, 2001.

The U.S. Department of Energy's (DOE) Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. **The 2009 Buildings Energy Data Book**. Disponível em: http://buildingsdatabook.eere.energy.gov Acesso em 10 setembro 2010.

TORREIRA, Raul Peragallo. **Elementos Básicos de Ar Condicionado**. São Paulo. Ed. Hemus, 1976.

TZIKOPOULOS, A.F., KARATZA, M.C. e PARAVANTIS, J.A.. "Modeling energy efficiency of bioclimatic buildings**". Energy and Buildings** vol. 37, n. 5, maio 2005.

USGBC - U.S. Green Building Council. **LEED for New Construction (LEED-NC) Version 2.2.** Washington, 2010.

USP (2009) **Desempenho térmico e luminoso de vidros e policarbonatos** [*online*]. Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Disponível em: http://www.usp.br/fau/deptecnologia/docs/bancovidros/termica.htm Acesso em 22 abril 2009.

WESTPHAL, Fernando Simon. **Desenvolvimento de um algoritmo para estimativa do consumo de energia elétrica de edificações não residenciais a partir de dados climáticos simplificados**. M.Sc. dissertação em engenharia civil, Florianópolis: UFSC 2003.

WIDMER, W. M.; SANT'ANNA, Fernando Soares Pinto. **Histórico e perspectivas do gerenciamento ambiental**. Revista Saneamento Ambiental, São Paulo, v.7, n.38, pp.38-42, 1996.

WONG, N.H.; CHEONG, D.K.W.; YAN, H et al. "The effects of rooftop garden on energy comsuption of a commercial building in Singapore**". Energy Buildings,** v. 35, n. 3, pp. 353-364, 2003.

WORTHINGTON, John. **Reinventing the Workplace**. Oxford, Architectural Press, 1997.

ZHOU J, Chen Y. "A review on applying ventilated double-skin façade to buildings in hot-summer and cold-winter zone in China". **Renewable and Sustainable Energy Reviews**; v. 14, pp. 1321-1328, 2010.